

特集：電磁界と健康

電磁界の疫学 ―低周波―

笠島茂

国立保健医療科学院公衆衛生政策部

Review of the Epidemiologic Studies on EMF and Health

Shigeru SOKEJIMA

Department of Public Health Policy, National Institute of Public Health

抄録

電磁界による健康影響の問題は多岐にわたる。本総説は、低周波電磁界の中でも居住地における超低周波（ELF）の電磁界（EMF）への慢性的で低強度の曝露と小児白血病の発生に関する疫学的研究の動向、国際がん研究機関（IARC）による因果関係の評価を紹介する。この関係についての疫学的研究は商用電力周波数（50Hz/60Hz）の電磁界への曝露評価の方法によって、主に（1）ワイヤー・コードによるもの、（2）計算による磁束密度によるもの、および（3）実測による磁束密度によるものに分類できる。それぞれのプール解析の結果は、（1）の方法を用いることに否定的なものだが、（2）の計算、あるいは（3）の実測による磁束密度が $0.3\mu\text{T}$ から $0.4\mu\text{T}$ 以上で $0.1\mu\text{T}$ 以下に比べて白血病罹患リスクが2倍前後に増大していることを示唆していた。この結果を受けて2001年にIARCは次の内容の評価を下した。すなわち、ELF磁界による小児白血病罹患リスク増大の疫学的研究は正の関係を示している。バイアスの問題が残っており、動物実験の結果も十分ではないが、因果関係があり得るのでグループ2B（Possibly carcinogenic to humans）が相当である。これを受けて2007年にWHOが策定した環境保健基準238号（EHC238）は、IARCの評価以降の主要な研究を吟味した上で現段階ではグループ2Bの評価を変更する必要はないとし、プレコーションに基づくアプローチをとることが適当であるとした。しかし、そのようなアプローチはEHC238にもあるように電気エネルギーが今日の社会の福祉を向上させていることと調和のとれたものでなければならない。

キーワード： 疫学、超低周波（ELF）、電磁界（EMF）、小児白血病、プール解析、国際がん研究機関（IARC）、環境保健基準（EHC）

Abstract

Exposures to low frequency (0-100kHz) electromagnetic fields (EMF) have been examined whether they have any association with the incidence of various diseases and health problems. The present review focused on studies regarding the association between extremely low frequency (ELF; 3-300Hz) EMF exposure and childhood leukaemia incidence, because among all the outcomes evaluated in epidemiologic studies of low frequency EMF, childhood leukemia in relation to postnatal chronic exposures to ELF-EMF is the one for which the most evidence of an association has been shown. The power frequency (50Hz/60Hz) was subdivided into ELF. The aim of the review was to examine the results of two crucial pooled analyses conducted by Ahlbom et al. (2001) and Greenland et al. (2001), and to interpret the assessment determined by the International Agency of Research on Cancer (IARC). The original studies reviewed by the two pooled analyses were classified into three groups by exposure assessment methods: (1) wire cording, (2) calculated historical magnetic fields, and (3) measurement of magnetic fields. The pooled analysis of data from the studies using wire cording did not suggest the appropriateness of the method. The analysis using the other two methods denoted that chronic exposure to ELF-EMF of $0.3\mu\text{T}$ to $0.4\mu\text{T}$ or above was associated with an increased risk of childhood leukaemia compared with exposure to less than $0.1\mu\text{T}$ (estimated risk ratio around two). A positive relationship was previously observed in epidemiological studies between the

〒351-0197 埼玉県和光市南2-3-6
2-3-6 Minami Wako-shi, Saitama 351-0197, Japan.

exposure to ELF-EMF and the incidence of childhood leukaemia. In 2001, on the basis of the pooled analyses, the IARC classified the association into Group 2B, which means that exposure to ELF-EMF was evaluated as “possibly carcinogenic to humans.”

The Working Group of IARC considered a causal interpretation to be credible although bias could not be ruled out with reasonable confidence and less than sufficient data was shown in studies with experimental animals. In 2007, the Environmental Health Criteria No.238 (EHC238), published by the World Health Organization, examined two major studies on the association published since the IARC evaluation and admitted no need to change the evaluation. The EHC238 discussed the use of precautionary-based approaches and provided recommendations for protective measures considered to be appropriate given the degree of scientific uncertainty. For this discussion, we must strive, to harmonize the precautionary-based approach and the benefits which society receives.

Keywords: epidemiology, extremely low frequency (ELF), electromagnetic field (EMF), childhood leukaemia, pooled analysis, International Agency for Research on Cancer (IARC), Environmental Health Criteria (EHC)

1. 電磁界の種類と本総説が取り扱う範囲

電気エネルギーは他の様々なエネルギーに変換可能であり、搬送が容易なこともあって現代社会で広く用いられている。電気エネルギーを扱う際に生じる人工的な電磁界 (Electromagnetic Fields; EMF) への曝露は、一般公衆の居住環境と労働者の職場を問わず、全ての人にとって避けることができない。商用電力の周波数は一般に50Hz または60Hz であるが、1970年代に入りこれらの周波数を含む超低周波 (Extremely Low Frequency; ELF) の EMF の生体影響が注目されるようになった¹⁾。ELF は100KHz までの低周波 (Low Frequency) の一部だが、ELF の周波数範囲の明確な定義は現状ではない。分野や国によって ELF の指す周波数の範囲は異なり、静電磁界を含む場合もあるが、ここでは商用電力周波数を含む概ね3~300Hz の周波数範囲を指すことにする。300Hz 以上の低周波は中間周波 (Intermediate Frequency; IF) と呼ぶことがあるが、IF-EMF の発生源となるものに、近年、家庭での普及が進んでいる電磁誘導加熱 (Induction Heating; IH) 調理器がある。低周波より高い周波数帯の電磁界には高周波 (Radio Frequency) やマイクロ波 (Microwave) が属する。

人が電気エネルギーを取り扱う以前に、地球は25 μ T (マイクロ・テスラ) から65 μ T の静磁界を有するが、この静磁界に人工的な電磁界が重なる。例えば、核磁気共鳴画像 (Magnetic Resonance Imaging; MRI) 検査で用いる磁石の静磁界は最大2 T 以上に及ぶ場合がある。MRI 技師における静磁界への曝露は最大5 mT 程度である。また、直流送電線や直流を用いる電車の架線の周囲に静電磁界が存在する。磁気浮上式鉄道 (Magnetic Levitation; マグレブ) のように、静磁界とともに走行中に50Hz 程度の超低周波磁界も混合して生じるものもある。MRI の出現、直流送電の実用化、あるいはマグレブの出現にともない、静電磁界の生体への安全性を考慮した研究も重要性をます。

低周波の電磁界は、静電磁界、ELF-EMF、および IF-EMF からなるが、本総説では ELF-EMF の生体影響に関

する疫学の紹介に焦点をあてる。ELF-EMF への曝露が及ぼす健康への影響についてこれまで多くの分野で研究が行われてきたが、主な分野だけでも、神経行動、神経内分泌、神経変性疾患、心血管系疾患、免疫、血液、生殖、発育、がんなど多岐にわたる²⁾。また、近年では疾患だけではなく住民の健康関連QOLに及ぼす間接的な影響にまで研究が及んでいる^{3), 4)}。

中でも、小児白血病の発生との関連性への関心度は高く、因果関係の評価の重要性や公衆衛生政策における含意も小さくない。しかし、居住地の ELF-EMF への曝露が小児白血病の発生リスクを高めているという研究がある一方で、それに矛盾するかのような別の切り口の研究もある。そのような研究の一つは次のようなものである。冒頭で述べたように電気エネルギーの利用形態は非常に幅広いので、利用時に生じる電磁界への全般的な累積曝露を住民一人あたり電力消費量で評価して白血病死亡率との関連性をみた生態学的研究がある。この研究結果は経済的要因で調整しても一人あたり電力消費量の大きい地域ほど白血病死亡率がむしろ小さいことを示唆していた⁵⁾。また、生体電気工学の研究からは強度の高い急性期の曝露は生体影響がはっきりしているが、低強度の曝露ががんの発生に関連するのだろうかという疑問も出されている。ここでは、居住地における ELF-EMF の慢性的な、0.3 μ T から0.4 μ T 以上程度の低強度の曝露と小児白血病の発生に関する疫学的研究の動向、国際機関による因果関係の評価、ならびにその公衆衛生政策上の含意について紹介する。

2. 居住地における強度の低い電磁界曝露と小児白血病に関する疫学研究の動向

(1) ワイヤー・コード (Wire code) による曝露評価を用いた研究

1979年に米国の Denver で、Wertheimer らが、19歳以下の小児において、居住環境における配電線への曝露と白血病による死亡の発生との関連性を検討する症例対照研究を発表した¹⁾。この研究は、曝露評価のために配電線を高

電流規格配置 (High current configuration; HCC) と低電流規格配置 (Low current configuration; LCC) に分類し、症例における居住環境中の配電線が HCC に分類される割合が対象におけるそれに比べて大きいことを示唆した。このような分類はワイヤー・コードと呼ばれる。この研究自体はワイヤー・コード分類別のリスク比の推定までは行っていないが、居住環境中の送電線、配電線、ないし電気機器の存在、あるいはそれらによる ELF-EMF の発生が小児がんの発生リスクの増大に関連しているという作業仮説が形成される契機となった。

ワイヤー・コードにはいくつかの種類があるが、1979 年の Wertheimer の研究の後、この曝露評価方法を用いた小児白血病の症例対照研究が北米を中心にして多数、行われた。それらのプール解析 (pooled analysis) が米国の UCLA の Greenland ら、ならびにスウェーデンの Ahlbom らによって試みられている^{6), 7)}。前者の分析では、データを提供した8件の研究の結果の同質性が低く全体でのリスク比の推定値は示されていない。磁束密度の測定値とワイヤー・コード分類の二つの曝露評価が同時に利用可能であった対象に限定してそれぞれプール解析を行うと両者の結果は類似している点は興味深い。ただし、提供されたデータの制約から症例の病型のサブタイプが特定されていない点などに注意が必要である。一方、Ahlbom らは、米国とカナダの2件の研究からデータの提供をうけて分析した。米国の白血病患児595名、対照530名、カナダの患児272名と304名の対照をプールし、ワイヤー・コードによる分類でリスク比を推定したところ1.24 (0.82-1.87) であった。

(2) 過去の電流使用記録から計算で求めた磁界 (Calculated historical magnetic field) による曝露評価を用いた研究

1993年にスウェーデンの Karolinska 研究所の Feychting と Ahlbom とが、200kV または400kV 送電線から300m 以内に位置する家屋に居住する16歳未満の小児、10万人以上からなるコホート内で実施した症例対照研究の結果を発表した⁸⁾。このコホートに属する対象の居住家屋の研究期間中の電流使用歴が利用可能であった。この使用歴と ELF-EMF のスポット測定を対応させ、磁束密度の形式での曝露歴を計算で求めた。39名の白血病患児が発生し、その内、22名 (56%) は急性リンパ性白血病 (acute lymphoid leukemia; ALL)、対照は558名であった。0.1 μ T 未満の磁界をベースラインとすると0.2 μ T 以上で推定リスク比は2.7 (95% 信頼区間: 1.0-6.3)。この推定リスク比は、性、年齢、地理、建物の種類、診断年、社会経済的地位、NO₂で調整すると3.1 (1.1-8.6) であった。

このように過去の電流使用記録から計算で求めた磁界による曝露評価方法を用いた症例対照研究が北欧諸国で多数、行われ、5カ国の研究からのデータによるプール解析の結果を Ahlbom らが発表している⁷⁾。1,046名の白血病患児 (内 ALL745名) と6,853名の対照について、計算に

基づく0.1 μ T 未満の磁界をベースラインとして、0.4 μ T 以上で性・年齢で調整した推定リスク比を求めたところ、2.13 (95% 信頼区間: 0.93-4.88) であった。

(3) 実測による曝露評価を用いた研究

1979年の Wertheimer の発表の後、上述のようにワイヤー・コード分類を用いた研究が北米を中心に行われたが、国や地域によって配電線の規格や配置の違いがあり、研究の再現性を確保するためには、実際に曝露を測定する必要があるという認識が強まった。米国の国立がん研究所 (National Cancer Institute) の Linet らは、15歳以下の638名の ALL 患児と620名の対照からなる症例対照研究を行った。寝室で24時間、3ないし4箇所の部屋と玄関の外で30秒間ずつ磁界を測定し、子供の生活時間で磁界 (40Hz から300Hz での磁束密度) の時間平均を求めて曝露を評価した。当初の研究計画に従って0.065, 0.100, および0.200 μ T の3点で曝露を4カテゴリーに分類して解析したが曝露と ALL 罹患との関連性は見出されなかった。ただ、0.200 μ T 以上のカテゴリーを細分したところ、0.300 μ T 以上で推定リスク比が増大する傾向がみられ、0.400-0.499 μ T で推定リスク比は有意な増大を示したが、0.500 μ T はリスク比は再び1に近づき、トレンド検定の結果も有意でなかった⁹⁾。この後の実測に基づく研究が蓄積され、プール解析に供せられた結果は後述する。なお、居住地における ELF-EMF への曝露を実測する方法には、スポット測定、据え置き装置による測定、および携帯装置による測定などがある。しかし、症例対照研究で患者の発生後に測定する場合、いずれの方式を用いても発症前の曝露をどの程度の精度で評価できるのか妥当性を検証しなければならないという問題は残る。

前掲の Greenland らによるプール解析で、ELF-EMF の磁束密度の実測に基づく12件の研究から、2,656名の患児と7,084名の対照をプールして、測定値が0.1 μ T 以下のカテゴリーに比べて、0.3 μ T 以上でのリスク比を推定したところ1.69 (95% 信頼区間: 1.25-2.29) (Mantel-Haenszel summary odds ratio) であった⁶⁾。また、Ahlbom らのプール解析でも、2,201名の白血病患児 (ALL1,959名) と3,547名の対照について、実測に基づく0.1 μ T 未満のカテゴリーに比べて、0.4 μ T 以上で性、年齢、および社会経済的地位で調整した推定リスク比は1.87 (1.10-3.18) であり、Greenland らの分析結果と矛盾していなかった⁷⁾。

ELF-EMF への曝露と小児白血病の罹患リスクに関する疫学の動向を、Ahlbom らと Greenland らの重要なプール解析までの概観を上述した。ELF-EMF の曝露評価は困難な問題をいくつも抱えている¹⁰⁾。曝露は微少だが至る所に存在し、発生源も多い。曝露水準の時間変動が激しく距離による変化も大きい。前述したように、ELF-EMF に関する後ろ向きで罹患前の曝露水準を十分な精度で評価することは容易でない。また、動物実験などによる生物医学的なエビデンスにも乏しい中であって適切な仮説の設定

も難しい研究状況であったが、ワイヤー・コードによるものを除いて、研究の質は向上し、研究間の整合性や、統計的検出力の問題もプール解析で確かめられてきた。

3. 国際がん研究機関(International Agency for Research on Cancer; IARC)による ELF-EMF への曝露と小児白血病との関係についての評価

(1) 現在の評価

WHO の関連組織である IARC は、2000年6月の会議で ELF-EMF の発がん性に関する評価を、グループ2B (Possibly carcinogenic to humans) としている¹¹⁾。この評価は Ahlbom 達、ならびに Greenland 達の二つのプール解析の結果を踏まえてのものである^{6), 7)}。グループ2B の意味するところは、ヒトにおける証拠は「限定的」(limited) で、かつ、動物実験等からえられる証拠は「十分ではない」(less than sufficient)、と評価しているということである(表1)。ここでいうヒトにおける証拠が「限定的」というのは、表の脚注に記したように、ヒトにおける研究で曝露と研究対象のがんの発生との間に正の関連性があり、IARC の委員会としては因果関係の存在を信ぴょう性のあるものと評価しているが、偶然(chance)、バイアス(bias)、あるいは交絡(confounding)を除外できるかという点にはまだ十分な信頼を置くことができない段階にあることを意味している。

ちなみに、グループ2B からみて一段階、高い評価であるグループ2A (probably carcinogenic to humans) は、ヒトにおける証拠は限定的だが動物実験などから得られる証拠は「十分である」(sufficient) ことを意味する。また、一段階、低い評価である Group3 (Not classifiable as to its carcinogenicity to humans) は、ヒトにおける証拠が「不適切な」(inadequate) ことを意味する。間接的にはグループ2B は、少なくともヒトにおける証拠が不適切なものではないと評価していることになる。ここでいう「不適切な」というのは、表1の脚注に示したように、曝露とがんの発生との因果関係の有無を評価するのに、研究の質の高さが十分でない(insufficient quality)、研究結果の間の一貫性が十分でない(insufficient consistency)、あるいは統計的検出力が十分でない(insufficient statistical power)、または、ヒトにおけるがんについてデータがないと評価していることを意味する。

(2) 評価変更の可能性

ELF-EMF と小児白血病の因果関係に関するグループ2B の評価が今後、変化するとすれば、以下のような場合が考えられる。(a) ヒトにおける研究での証拠が「限定的な」ものという評価から「不適切な」ものに下がり、かつ、動物実験を用いた研究での証拠が「不適切な」ものに下がり、Group 3になる。(b) ヒトにおける研究での証拠が現状と同じく「限定的な」ものという評価で、かつ、動物実験を用いた研究での証拠が「十分ではない」(less than sufficient) から「十分な」ものに上がり、グループ2A になる。あるいは、(c) ヒトにおける研究での証拠が「十分な」ものに上がり、グループ1 (carcinogenic to humans) に上がる。

白血病の発生メカニズムには不明な点が多い。従って、観察疫学的研究において未知の要因が制御されない交絡の原因になることは排除しきれない。動物実験を含む生物医学的な研究が白血病の発生メカニズムをより明らかにできれば、疫学研究における仮説形成の理論的根拠の提供や交絡の制御によって疫学的研究の結果への信頼性も上がる。小児の白血病、特に、ALL において、0.3 μ T から0.4 μ T 以上で急激にリスク比が大きくなる原因が人工的なものなのかそれとも生物医学的に説明できるものなのか確かめなければならない。小児白血病について評価可能なトランスジェニック齧歯類モデル等の開発が待たれるところである。生物医学的研究の進展によっては、ELF-EMF と小児白血病との間の因果関係の評価は、Group 3, Group 2A のいずれにも変化する可能性がある。

白血病の罹患率は極めて低く前向きのコホート研究の対象になりにくいので、ELF-EMF への曝露歴との関係は後ろ向きの症例対照研究によるものが大部分である。従って、研究結果に選択バイアスが混入しやすい。症例対照研究で症例・対照の両群で参加率を十分に引き上げる、大規模コホート研究を実施する、さらには、大規模介入研究を実施することが成功し、ELF-EMF による白血病罹患率の上昇が多くの研究で検証されることがあれば、因果関係の評価がグループ1に引き上げられることもあるであろう。また、そのような研究で罹患率の上昇がなく、IARC の動物実験の評価基準からみて、二種以上の適切な動物実験でも関係が否定されればグループ4に引き下げられる可能性も論理的にはないといえない。

表1 Overall evaluation standards of the strength of the evidence for carcinogenicity arising from human and experimental animal data(IARC), tabulated by the present author.¹¹⁾

Group	Carcinogenicity to Humans	Evidence of Carcinogenicity	
		Humans	Experimental Animals
1	Carcinogenic	<i>Sufficient</i> *	-
		<i>Less than sufficient</i> *	
		BUT Strong evidence in exposed humans that the exposure acts through a relevant mechanism of carcinogenicity	<i>Sufficient</i> **
2A	Probably carcinogenic	<i>Limited</i> †	<i>Sufficient</i> **
		<i>Inadequate</i> §	<i>Sufficient</i> ** And Strong evidence that the carcinogenesis is mediated by a mechanism that also operates in humans
		<i>Limited</i> †	-
2B	Possibly carcinogenic	<i>Limited</i> †	<i>Less than sufficient</i> **
		<i>Inadequate</i> §	<i>Sufficient</i> **
		<i>Inadequate</i> §	<i>Limited</i> † AND Supporting evidence from other relevant data
3	Not classifiable as to its carcinogenicity	<i>Inadequate</i> §	<i>Inadequate</i> §§ or <i>limited</i> † <i>Sufficient</i> ** BUT Strong evidence that the mechanism of carcinogenicity in experimental animals does not operate in humans
		Other than Groups 1, 2A, 2B, and 4	
		<i>Suggesting lack of carcinogenicity</i> #	<i>Suggesting lack of carcinogenicity</i> ###
4	Probably not carcinogenic	<i>Inadequate</i> §	<i>Suggesting lack of carcinogenicity</i> ### AND Consistently and strongly supported by a broad range of other relevant data

Half-tone dot meshing denotes a typical definition for assessing the carcinogenicity to humans.

* **Sufficient** evidence of carcinogenicity in humans: a positive relationship has been observed between the exposure and cancer in studies in which chance, bias and confounding could be ruled out with reasonable confidence.

† **Limited** evidence of carcinogenicity in humans: a positive relationship has been observed between the exposure and cancer in studies for which a causal interpretation is considered by the Working Group of the IARC to be credible, but chance, bias or confounding could not be ruled out with reasonable confidence.

§ **Inadequate** evidence of carcinogenicity in humans: Insufficient quality, consistency or statistical power to permit a conclusion regarding the presence or absence of a causal association between exposure and cancer, or no data on cancer in humans are available.

Evidence **Suggesting lack of carcinogenicity in humans**: See page 24 of the reference.¹¹⁾

, †, and §§ **Sufficient, limited, or inadequate evidence of carcinogenicity in experimental animals: See pages 24-25 of the reference.¹¹⁾

Evidence **Suggesting lack of carcinogenicity in experimental animals**: See page 25 of the reference.¹¹⁾

4. WHOの環境保健基準238号 (Environmental Health Criteria No. 238; EHC238) にみる ELF-EMFへの曝露と小児白血病との関係についてのIARC2002における評価の確認とその公衆衛生政策上の含意²⁾

(1) 2002年以降の主要な研究についての評価：IARC2002における評価の確認

EHC238は2001年6月のIARCの評価以降、ELF-EMFと小児白血病の関係について主要な研究を2件とりあげて評価を試みている。一つは日本の兜真徳 (Masanori Kabuto) (故人、元国立環境研究所首席研究官) とその共同研究者による2006年に発表された研究であり、他方は英国のDraperらの2005年発表の研究である^{12), 13)}。

2006年のKabutoらの研究は1997年のLinnetらのものと同様のプロトコルを用いて実施したものである⁹⁾。デザインはポピュレーション・ベースト症例対照研究で15歳以下の小児人口の54%をカバーしている。対象は0-15歳の312名の白血病患児 (ALLは251名) と603名の対照からなる。対象の寝室で磁界 (磁束密度) を1週間連続測定した平均値を0.1 μ T, 0.2 μ T, および0.4 μ Tで区切り、0.1 μ T未満のカテゴリーに対する推定リスク比を求めた。その結果、0.4 μ T未満では推定リスク比の上昇はみられないが、0.4 μ T以上のカテゴリーで白血病罹患の推定リスク比は2.6 (95%信頼区間 0.76-8.6), ALL単独では4.7 (1.15-19.0) であった。これらの推定リスク比は交絡する可能性のある要因について調整しても本質的な変化を示さなかった。

この研究に対してEHC238は、「研究結果は従来のプール解析の結果に概ね整合しているが、標本サイズが小さく白血病罹患の推定リスクの信頼区間が大きいと限定的な証拠である。参加率が低いことが本研究の限界である。この結果を従来の研究データベースに加えても全体の評価に変化をもたらすことはない。」とコメントしている²⁾。ここでいう「全体の評価」とはIARC2002によるグループ2Bを指す。この研究がキャッチメント・エリアを広げて対象適格者を増加させ、かつ、十分な参加率を獲得すれば、バイアスの可能性の回避と信頼区間の改善がもたらされていたかもしれない。ただし、この研究で用いられた症例対照研究で電磁界の実測を用いるプロトコルで参加率を上げるのは難しいと考えられる。

2005年のDraperらの論文は、複数のがん登録を用いて症例対照研究をおこなったものである。対象は北アイルランドを除くイギリスで1962年から1995年の期間にがんの診断を受けた0-14歳の患児33,000人弱のうち、住所を含む出生時の情報が利用可能であった9,700人の白血病患児、ならびに地域別の出生登録からえた対照からなる。この症例対照研究は研究への参加に対する同意を用いていない。曝露は最も近い地上の送電線 (全275kV線, 全400kV線, 及び一部の132kV線) からの距離を用いて評価した。送

電線への距離が600m以上のカテゴリーに比べた白血病罹患に関する推定リスク比は200-599mで1.23 (95%信頼区間, 1.02-1.49), 0-199mでは1.69 (1.13-2.53) であった。この結果を社会経済的状況で調整しても結果は本質的な変化を示さなかった。

この研究に対するEHC238のコメントは、この研究が送電線からの距離がこれほど大きな範囲で白血病の過剰リスクに関連していると示したことに率直な驚きを示している²⁾。対象数の規模の大きさから推定リスク比は安定していること、そして、対象から同意をとらなかったことで症例対照間の選択バイアスが回避されていることからみて、研究結果自体は信頼性が高い。送電線からの距離は磁界への曝露を正確に予測できるわけではないので、実測に基づく計算によって磁界曝露の推定をおこなってこの研究をもう一度、解析することを勧めている。この研究がIARC2002のグループ2Bの評価の変更に関わるか否かについて直接的には何も示していない。ただ、いずれにせよ、この研究は、送電線と白血病の関係に関する新しい仮説形成につながるかもしれないという意味で重要な研究であることに留意すべきであろう。なお、本邦においてもワイヤー・コードではなく送電線からの距離のみによる分類が小児がんとの関連性を示唆する研究が存在する^{12), 14)}。

(2) 公衆衛生政策上の含意

慢性的な低強度 (0.3 μ Tから0.4 μ T以上) のELF-EMFへの曝露が小児白血病の罹患リスクを増大させることがIARCの評価でグループ2Bに分類されるということは、上述の通り、この関係が科学的にみて可能性はあるが不確実なものであることを意味することに十分に留意されなければならない。WHOのEHC238はIARCの評価以降の主要な研究も吟味した上で現段階ではグループ2Bの評価を変更する必要はないとし、プレコーションに基づくアプローチをとることが適当であるとした。しかし、それはEHC238にもある通り、電気エネルギーが今日の社会の福祉を向上させていることと調和のとれたものでなければならない^{15), 16)}。

現状では、わが国において居住地での曝露の分布は、0.1 μ T以下88.46%, 0.1 μ Tから0.2 μ T以下5.77%, 0.2 μ Tから0.3 μ T以下3.85%, そして、0.3 μ T超1.92%である。すなわち、0.3 μ Tから0.4 μ T以上のELF-EMFへの慢性的曝露が予想される小児人口割合の推定値は1.92%である^{2), 12)}。これらの曝露人口分布とGreenlandらのプール解析から得られる推定リスク比 (Mantel-Haenszel) の対応する分布, 1, 0.95 (95%信頼区間: 0.80-1.12), 1.06 (0.79-1.42), および, 1.69 (1.25-2.29) を用いると、ELF-EMFへの曝露による小児白血病罹患の人口寄与危険割合は、目標カテゴリーの取り方によるが1%強と推定される⁶⁾。プレコーション・アプローチによる最大効果が、小児白血病罹患の1%強の予防に相当することになる。プレコーション・アプローチの費用効果分析、費用効用分

析, および費用便益分析を行うことが公衆衛生政策の意思決定者にとって今後, 必要である。

参考文献

- 1) Wertheimer N, Leeper E. Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am J Epidemiol* 1979; 109: 273-284.
- 2) WHO (World Health Organization) . Extremely Low Frequency Fields, Environmental Health Criteria Monograph No.238. Geneva, Switzerland, WHO, 2007. (<http://www.who.int/entity/peh-emf/publications/ELF%20EHC%20No238%20full.pdf>)
- 3) Yamazaki S, Sokejima S, Mizoue T, Eboshida A, Fukuhara S. Health-related quality of life of mothers of children with leukemia in Japan. *Qual Life Res* 2005; 14: 1079-85.
- 4) Yamazaki S, Sokejima S, Mizoue T, Eboshida A, Kabuto M, Yamaguchi N, Akiba S, Fukuhara S, Nitta H. Association between high voltage overhead transmission lines and mental health: a cross-sectional study. *Bioelectromagnetics* 2006; 27: 473-8.
- 5) Sokejima S, Kagamimori S, Tatsumura T. Electric power consumption and leukaemia death rate in Japan. *Lancet* 1996; 348: 821-822.
- 6) Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT, Poole C, Kelsh MA. A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. *Epidemiology* 2000;11: 624-634.
- 7) Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, Dockerty J, Linet M, McBride M, Michaelis J, Olsen JH, Tynes T, Verkasalo PK. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *Br J Cancer* 2000;83: 692-698.
- 8) Feychting M, Ahlbom A. Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high-voltage power lines. *Am J Epidemiol*. 1993; 138: 467-81.
- 9) Linet MS, Hatch EE, Kleinerman RA, Robison LL, Kaune WT, Friedman DR, Severson RK, Haines CM, Hartsock CT, Niwa S, Wacholder S, Tarone RE. Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children. *N Engl J Med*. 1997; 337: 1-7.
- 10) Ahlbom IC, Cardis E, Green A, Linet M, Savitz D, Swerdlow A; ICNIRP (International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection) Standing Committee on Epidemiology. Review of the epidemiologic literature on EMF and Health. *Environ Health Perspect*. 2001; 109 Suppl 6: 911-933.
- 11) IARC (International Agency for Research on Cancer): Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields. IARC Monograph on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 80, No.1. Lyon, France, IARC, 2002. (<http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/crthall.php>)
- 12) Kabuto M, Nitta H, Yamamoto S, Yamaguchi N, Akiba S, Honda Y, Hagihara J, Isaka K, Saito T, Ojima T, Nakamura Y, Mizoue T, Ito S, Eboshida A, Yamazaki S, Sokejima S, Kurokawa Y, Kubo O. Childhood leukemia and magnetic fields in Japan: a case-control study of childhood leukemia and residential power-frequency magnetic fields in Japan. *Int J Cancer* 2006; 119: 643-50.
- 13) Draper G, Vincent T, Kroll ME, Swanson J. Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a case-control study. *BMJ*. 2005; 330:1290.
- 14) Mizoue T, Onoe Y, Moritake H, Okamura J, Sokejima S, Nitta H. Residential proximity to high-voltage power lines and risk of childhood hematological malignancies. *J Epidemiol* 2004; 14: 118-123.
- 15) 大久保千代次. 電磁界の健康リスク評価と WHO の動向: 超低周波電磁界を中心にして. *生体医工学* 2005; 43:369-374.
- 16) Rio Declaration on Environment and Development (Principle 15), The United Nations Conference on Environment and Development, at Rio de Janeiro, 1992.