

極低周波磁場と小児白血病に関する疫学研究と、予防原則にもとづく自主対応

溝上, 哲也
九州大学大学院医学研究院予防医学分野

兜, 真徳
独立行政法人国立環境研究所

<https://doi.org/10.15017/18680>

出版情報：福岡醫學雜誌. 94 (2), pp.21-25, 2003-02-25. 福岡医学会
バージョン：
権利関係：



総 説

極低周波磁場と小児白血病に関する疫学研究と、 予防原則にもとづく自主対応

九州大学大学院医学研究院予防医学分野

*独立行政法人国立環境研究所

溝 上 哲 也, 兜 真 徳*

はじめに

電力の供給は現代社会を成り立たせるために不可欠である。街中のいたるところに送電線・配電線などの電力供給設備があり、私たちは消費者として日常生活で数多くの電力製品を使用している。欧米では、商用電力による電磁場が小児白血病のリスクを高めることを示唆する疫学調査の報告以来、その健康影響に高い社会的関心が寄せられてきた。日本でも、高度工業化が進んでいる上に人口密集度が高いという状況を考えると、過剰反応や社会不安を引き起こすことなく対策を進める必要がある。そのためには、まず電磁場の健康影響について正確な知識を、予防対策の国際的動向とともに理解することが求められよう。本稿では、極低周波磁場と小児白血病に関連する疫学研究の概要を研究方法の問題点を含め整理した上で、国際機関による電磁場の発がん性評価および世界的な予防原則の動向を紹介する。また最近、日本で行われた大規模な疫学調査の意義を説明する。

極低周波電磁場

発電・送電・配電・電気器具使用に伴い 50 Hz/60 Hz (商用周波数) の極低周波電磁場が発生する。電場はコンクリートの障壁などで容易に遮断されるが、磁場は突き抜ける物理特性により居住環境・生体内に進入する。その一方、発生源から離れると曝露量は大幅に減少する。生活環境下で受けるごくわずかの磁場強度の単位として、milliGause (ミリガウス, mG), 国際単位では microTesla (マイクロテスラ, μT) が頻用されている。0.2 μT は 2 mG に相当する。なお、人は地球から静磁場として、25 (赤道) ~65 μT (両極地) の大きさの曝露を受けている。また、携帯電話は商用電力に伴う電磁場より周波数が高い極長短波に属する。

疫学研究の発展

極低周波電磁場の影響については様々な疾病を対象に研究がなされているが、数の多さや結果の一致性の点からは極低周波磁場と小児白血病についての疫学研究が最も多い。後述する国際機関による電磁場の発がん性評価も両者の関連性に関する知見にもとづいている。このため本稿ではこの点に絞って説明する。米国・デンバーから 1979 年、電流量の多い送電線近くに住む小児では白血病リスクが高いとの疫学調査の結果が報告され、極低周波電磁場の影響が疑われた。米国での追試やスウェーデンで行われた研究でも同様の知見が得られたことにより、北米・北欧を中心に数多く疫学研究が展開されていった。磁場曝露の近似指標として、初期の研究では家庭周囲での送電線・配電線の種類と家屋との距離にもとづいた電線分類

Tetsuya MIZOUE and Michinori KABUTO*

Department of Preventive Medicine, Graduate School of Medical Sciences, Kyushu University, Fukuoka 812-8582, Japan

*National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Ibaraki 305-8506, Japan

Epidemiological Studies on Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields and Childhood Leukemia, and Preventive Actions Based on Precautionary Principles

(wire code) が用いられたが、磁場計測器を利用したその後の研究では家屋内外での瞬間測定や小児の寝室・居間での24～48時間連続した磁場測定が行われるようになった。日常生活での総曝露量を把握するため、計測器を入れた小型リュックを児に背負ってもらい1日の磁場を測定した研究も現れた。住居データベースが整備された北欧では、家屋と送電線との距離や送電線の電流量などより磁場を計算によって求めた研究が主流であり、妊娠時から診断時まですべての住居における磁場を計算した研究もある。過去の曝露が検討できる点は磁場測定値よりすぐれた曝露指標である。小児白血病はまれな疾患であり(10万人あたり1年間に数人)、採用された研究デザインの多くは症例対照研究である。これは、症例(患児)と対照(健康児)に同様の方法で調査し、高磁場に曝露されるオッズの比をとり相対危険度を推定する。例えば、症例100名のうち4人が高曝露で、対照100名のうち2人が高曝露であれば、オッズ比は $2 (= (4/96)/(2/98))$ と計算される。類似の研究手法として、高圧送電線から一定距離内に居住していたことがある小児を母集団とし、その中から発生した症例と性・年齢などを合わせて選んだ対照とで磁場曝露歴を比較したコホート内症例対照研究もある。

研究上の問題点

ある一定の曝露を割り付ける実験的な研究デザインと異なり、人を対象とする観察型研究にはバイアス、すなわち要因と結果との真の関連を歪める要因の影響が入りうる。前述したように、電磁場と小児白血病の研究のほとんどが症例対照研究という方法により行われている。このデザインは選択バイアスの影響を受けやすいが、曝露を含め方法上の問題点をまとめた(表1)。曝露やその計測に付随する問題(1-aと2)の多くは、真の関連性を弱める方向に働くと考えられる。これに対し、症例と対照を選定する際に働く選択バイアスはその影響の方向性を予測しにくい。特に家屋内での曝露を実測した研究では研究参加率が低く、このタイプのバイアスが危惧される。研究参加と関連した選択バイアス(3-a)への対応として、対象者の協力率を高める以外に、参加者と非参加者として送電線までの距離や磁場を比較することでその存在を確認することができる。他の危険因子による交絡バイアス(3-b)は、想定される交絡要因について情報を収集しておけば解析段階での補正が可能である。しかし小児白血病の危険因子が確立してないため、適用が難しい。このようなバイアスの他に、高曝露集団が少なく個々の研究では該当する推定値の信頼度が低いという問題がある(1-b)。例えば、米国で行われた大規模研究⁴⁾では症例629人、対照615人を調査したが、 $0.4 \mu\text{T}$ 以上の比較高曝露群に該当するのは症例23人、対照11人と非常に少ない。同磁場レベルに対応するオッズ比は $0.065 \mu\text{T}$ 未満と比較して2.2と計算されるが少数例に基づくため重視されておらず、「本研究の結果は磁場が小児白血病の原因であることをほとんど支持しない」と結論している。同様の知見と結論は、英国で行われた大規模研究の報告にもみられる(小児白血病1,094例、 $0.4 \mu\text{T}$ 以上に対応するオッズ比1.6)。

表1 電磁場の疫学研究の問題点

- | |
|------------------|
| 1. 曝露状況 |
| a. 非曝露集団がないこと |
| b. 高曝露レベル群が少ないこと |
| 2. 曝露計測 |
| a. 過去の曝露は不明 |
| b. 家庭以外での曝露が不明 |
| 3. 選択バイアス |
| a. 研究参加と関連したバイアス |
| b. 他の危険因子による交絡 |
| 例：社会経済、交通量、人口混合 |

統合分析

前述のように、たとえ国レベルの大規模疫学研究であっても、対象の2・3%未満しか該当しない高曝露群についてリスクを推定することは困難である。そこで複数の研究データを統合した分析(pooled analysis)が行われた。家庭における磁場の測定値または計算値を用いた研究を対象にした分析結果が2000年に2つの論文として発表され、ほぼ同様の結論に達している。Ahlbomらの分析では¹⁾、0.4 μT 以上の磁場では小児白血病のリスクが2倍(相対危険度2.0, 95%信頼区間1.3-3.1, P値0.002)と計算され、このリスク上昇は偶然によるものではないことを示している。さらに、この推定値は研究間のばらつきが小さく、社会経済要因、交通密度、人口混合(population mixing)といった想定されている交絡因子で補正しても変化がないことを確認している。もうひとつのGreenlandらの分析では²⁾、0.3 μT 以上の磁場に関連する小児白血病の相対リスクは1.7(95%信頼区間1.2-2.3)と、やはり統計的に意味のあるリスクの上昇を認めた。この研究は多様な研究を検討しているため交絡因子の調整は十分ではないものの、感度分析により推定値が安定していることを確認している。両論文ではまた、0.4 μT 未満ないし0.3 μT 未満ではなんらリスクの高まりがみられないこと、初期の研究で認められた電線分類と小児白血病との関連性はその後の研究では認められないことを共通して報告している。選択バイアスの影響の可能性は残るが、これら2つの再評価論文の知見は極低周波磁場と小児白血病との疫学的な関連性を支持するものであり、後述する発がん性の国際分類に影響を与えた。

日本の疫学研究

国際保健機構(WHO)が推進する「国際電磁場プロジェクト」の枠組みの中で、日本でも1999年より3年間、国立環境研究所の兜真徳らのグループが小児がん(白血病と脳腫瘍)と生活環境磁場との関連についての疫学調査を行った。全国5つの主要な小児がん臨床研究グループの協力を得て症例対照研究のデザインで行われたこの調査では、小児白血病患者約300人と、地域、性、年齢を合わせて選ばれた対照児約600人について家庭での磁場を測定した。本研究の第1の意義は、欧米以外で再現性を検証することにある。異なった人種・地域で同じ研究結果が得られるかどうかは因果関係を論ずる際、重要な確認事項である。また家庭での磁場測定の結果も注目される。ヨーロッパの家庭用電源は240ボルトであるのに対し、日本は100ボルト電源を使用している。同じ電力消費量なら電圧が低い日本の方が電流量が多く、より高い家庭内磁場が観測されるかもしれない。人口密集度が高い先進工業国での調査として、先行研究で不足している高曝露群のデータが収集されることが国際的なリスク評価の立場から期待されている。日本での調査結果は将来の統合分析に寄与できることを強調しておきたい。磁場計測に関しては、過去の研究が24~48時間測定であるのに対し、今回の調査では1週間の連続測定を行っており、週内変動の影響を受けない利点がある。

発がん性の国際評価

WHOの下部組織である国際がん研究機関(IARC)は発がん性の評価を行っている。極低周波電磁場については2001年に初めて第1段階の質的評価の対象とし、極低周波磁場を「発がんの可能性がある」(possibly carcinogenic)に分類した³⁾。表2に示すように、証拠としての確実さや優先度により5段階に分けている。分類の基準は、主に人での研究(=疫学研究)で一致した結果が得られている場合にはグループ1、主に実験動物で一致した結果が得られている場合にはグループ2A、人では限定的な知見しかなく、また実験動物でも発がんのメカニズムを示唆する十分な結果が得られていない場合にはグループ2Bとして分類される。極低周波磁場はこれら発がんの可能性のある3グループの中では最も低いレベルに属する。その根拠は、疫学研究を統合した分析により0.4 μT 以上ないし0.3 μT 以上の磁場レベルに小児白血病リスクの上昇を認めているもののバイアスの影響を否定できず、実験的には発がん性を示唆する一致した知見がないためである。磁場のみを照射した動物実験では発がん性を認めておらず、既知の発がん物質と

表2 ヒトに対する発がんの分類

分類コード	分類	例
グループ1	発がん因子である	タバコ煙, ラドン, アスベスト
グループ2 A	発がん因子である可能性が高い*	ホルムアルデヒド, 紫外線, ディーゼル排ガス
グループ2 B	発がんの可能性**がある	極低周波磁場, スチレン, ガソリン排ガス
グループ3	発がんについて分類できない	極低周波電場, 静電場, 静磁場
グループ4	発がん因子でない可能性が高い	

* probably carcinogenic, ** possibly carcinogenic

組み合わせ投与した実験でも一致した結果は得られていない。多段階発がんを想定した実験研究でも、化学物質によって誘導されたネズミやラットの白血病やリンパ腫の発生に磁場は何らの影響も及ぼさない。タバコ煙, ラドン, アスベストなど「発がん性があることが確実」(グループ1)な要因では、人での証拠とともに発がんを支持する実験的知見が得られていることは対照的である。なお、極低周波電場や静電場・静磁場については、発がん性に関する一致した報告はないとしてグループ3に分類された。

小児白血病のリスクの高まりが磁場によるものと仮定して、全発症者のどのくらいが磁場曝露に起因するものか(人口寄与危険割合)を推定する試みもなされている。日常曝露における影響の大きさを評価する上で参考になる。先の統合研究でGreenlandら²⁾は米国の人口寄与危険割合を3%と推定しており、磁場の寄与は小児白血病全体からみるとごくわずかであると述べている。曝露人口の割合やその定義によって推定値は変わるため、他地域への外挿を含め解釈には注意を要する。このような磁場曝露による健康リスクの量的評価については、現在、IARCがリスク評価の第2段階として取り組んでいる。

予防方針 (Precautionary Policies)⁵⁾

科学的な根拠が充分でない健康リスクについては、予防的アプローチを採用する世界的な流れが形成されている。代表的な予防方針は次のとおりである。

1) 予防原則 (Precautionary Principle)

科学的根拠が不鮮明な状況に適用されるリスクマネジメントの原則のひとつであり、科学研究の結果を待たずに潜在的に深刻なリスクに対して行動をとろうとする方針である。EU諸国では、ローマ条約で、環境問題についての地域的な対策は予防原則にもとづくことが示された。BSEの伝染の危険性を抑えるため、ヨーロッパ委員会が英国産の牛肉廃棄を決定した際に適用された。

2) 慎重なる回避 (Prudent Avoidance)

対策を実施することが健康リスクを低下させることについて科学的に正当な期待ができない場合に、達成が容易であり、低コストでできる対策によって曝露を低減しようとするものである。勧奨による自発的な行動であり、規制によるものではない。慎重なる回避は、オーストラリア、スウェーデン、米国のいくつかの州(カリフォルニア、コロラド、ハワイ、ニューヨーク、オハイオ、テキサス、ウィスコンシン)の電力業界の一部で採用されている。オーストラリアでは送電線の新設に際し、学校から離すなど「控えめなコスト」で実施できる対策をとっている。慎重な(prudent)とは費用のことを指しており、リスクに対する態度ではない。既設の送電線についての対策は一般に多額の費用を要するため、この原則にはあてはまらない。

3) ALARA (As Low As Reasonably Achievable)

既知のリスク要因に適用される原則であり、経済的、技術的、住民の健康安全への便益、その他の社会的・経済的事項を考慮した上で、「許容できるリスク」まで曝露を抑えることを目指す。域値のない電離放射線に適用されている原則であるが、低周波電磁場に適用している地域はない。

電磁場への予防的対策 (precautionary measures) として、WHO は 2001 年に次のような指針を示した。政府・企業に対しては、最新の科学的知見を理解した上で低コストで安全な曝露低減策について助言するとともに電磁場のリスクについて均衡のとれた明確で包括的な情報を提供することや、リスク評価に役立つ質の高い研究を推進することを求めている。個人に対しては、特定の電気製品の使用を最小限にとどめることや強い磁場源から距離をとることによって曝露を減らすよう提言している。新規の送電線敷設の際には、関連する公共団体・企業・住民は曝露を低減させる方法についても考慮した上で設置場所を決めるべきだとしている。さらに、電磁場曝露に取り組む計画や不信・恐れを取り除く計画についての社会全般の意識を高めるため、科学者・政府・企業・一般市民の間に健康に関する情報と伝達についての効果的な制度が必要であるとしている。

おわりに

ある市内の小中学校について高圧送電線からの距離を地図上で計測したところ、新しい学校ほど高圧送電線近くに位置する傾向がみられた。高圧送電線が敷設されていた丘陵・農村地帯に宅地開発が進み、そこに新設の小中学校が建てられたためと考えられる。このような都市開発に伴う曝露源への接近は大都市周辺に特徴的な現象と思われる。結果として国際的な動向である予防原則に反する状況が進んでいる点に注意しなければならない。大都市の街中でも、マンションのベランダ近くを 6,600 ボルトの中圧送電線が走っているなど同様の問題を指摘できる。生活空間に隣接しているだけに居住者への曝露源として無視できない。このような現状は都市計画の際に電磁場が意識されていないために生じているのであって、計画段階から考慮すれば「控えめなコスト」で対応できる。曝露が少量化・複雑化しリスク評価が困難さを増している今日では、科学的に不十分な証拠しかない場合でも実施可能な方策により予防的に対応するという原則は重要である。日本でも電磁場への関心が高まり、自主対応によって曝露を低減しようとする社会的動向が形成されることを期待したい。

本稿作成にあたって、文部科学省「振興調整費」(1999～2001 年)の補助を受けた。

参 考 文 献

- 1) Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, Dockerty J, Linet M, McBride M, Michaelis J, Olsen JH, Tynes T and Verkasalo PK: A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *Brit. J. Cancer* 83: 692-698, 2000.
- 2) Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT, Poole C and Kelsh MA: A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. *Epidemiology* 11: 624-634, 2000.
- 3) International Agency Research on Cancer: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Vol. 80. Non-ionizing radiation. Part 1: Static and Extremely Low-frequency Electric and Magnetic Fields, IARC Press Lyon, 2002.
- 4) Linet MS, Hatch EE, Kleinerman RA, Robinson LL, Kaune WT, Friedman DR, Severson RK, Haines CM, Hartsock CT, Niwa S, Wacholder S and Tarone RE: Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children. *N. Engl. J. Med.* 337: 1-7, 1997.
- 5) World Health Organization: WHO International EMF Project. <http://www.who.int/peh-emf/>.