

電磁界の健康影響に関する研究を辿る

志賀 健 （大阪大学名誉教授）

半世紀前には一般市民が強い電磁界に日常的に曝露するような状況は考えられなかった。現在ではリスクコミュニケーションのため「電磁界情報センター」が設立されることになった。この機会に過去の研究を振り返ってみたい。

1960年以前は素人が家庭内で100ボルトに感電するという急性の事故は別として、弱い電磁界への長期的曝露が健康に影響するなどは考えもしなかった。事実、私が強磁界を利用する測定装置（0.5 テスラ、T）を毎日利用することになった1960年頃には直流・交流の強磁界曝露による健康障害を記載した論文は見当たらなかった、当時は私自身も感電以外の障害は考えていなかった。

1970年代には様々な強磁界を使う大型装置（アクセレレーター、磁気共鳴、など）の開発が進み、オペレーターや見学者の障害防護のために各現場では強電磁界への立ち入り禁止などの措置がとられていた。日本では超高圧の架空送電線の計画が進められ、超低周波数交流50万ボルト送電線下の電磁界の安全性が議論され、現行の3kV/mという電界規制ができた。

1979年にN.WertheimerとE.Leeperは「送配電線の配置と小児がん」という奇妙な表題の論文をアメリカ疫学雑誌に発表した。高電流の高圧送配電線に近い住居の小児はがん死亡リスクが高い、小児がんでは多い順に白血病＞神経系腫瘍＞リンパ腫がある、という内容であった。その原因は不明だが、水道管を流れる漏洩電流または送配電線からの交流磁場（0.1～0.7 マイクロテスラ、 μ T）の影響かもしれない、と考察していた。彼女らは引き続き1982年の論文で成人のがんについても類似のことを発表した。そもそも地磁気（約50 μ T）にその1/100ほどの強度の交流が加わっても人体には影響しないであろう、と誰でも思う。たとえばWHO環境健康クライテリアNo.35「超低周波数電磁界」（1984）およびNo.69「磁場」（1987）はこれらの論文をやや否定的に紹介している。

1980～1990年頃には電磁界の健康影響に関する幾つかの追試論文があり、超低周波数磁場については次第に「送配電線の配置（wire code）」などという曖昧なものでなく、小児の寝室における交流磁束密度の実測（短時間ないし24時間測定）を行うようになった。これらの追試論文を並べてみると必ずしも統計的に有意とは言えないが、年代にもよらず・国や地方にもよらずほぼ一致した傾向を示していた。次第に送電線を危険視する説が拡がるようになった。疫学研究だけでなく、動物実験や細胞学実験が各国で盛んに行われるようになってきた。日本でも1985年には環境研究の一部として電磁界の生体影響研究が取り上げられるようになった。

1993年 M.FeychtingとA.Ahlbomはストックホルムの送電線について、過去の送電量を平均化して住居の曝露量を過去にわたって計算し、住居曝露の計算値が0.2 マイクロテスラ（ μ T）を超えると小児白血病のリスクが増加することを示した。当時は小児白血病リスクが0.2 μ T以上で増加するという想定外に低い数値に驚かされたものであった。ただし、この論文は症例数が少ないこと、および送電線からの交流磁場だけを計算して住居内の機器や配線から発生する磁場を無視していることが欠点とされた。

1990年代には各国で大規模な疫学調査が行われ、平行して動物発がん実験、細胞レベルの実験が行われた。超低周波数磁場と小児白血病に関する疫学調査は米国（1997）、英国

(1999) ドイツ (1998、2001) カナダ (1999) などがある。英国の疫学論文では低曝露住居 ($0.3\mu\text{T}$ 以下) はリスクなしと言い切っている、しかし高曝露住居は少なく例数不足のため結論を出していない。米国の疫学では高曝露住居が比較的多かったため $0.1\mu\text{T}$ 刻みで解析できた、高曝露群の一部で有意の高リスクがあったがより高い群ではリスク無しであった。従って米国の論文では超低周波数磁場では小児白血病のリスク増加なしという結果になる。

しかし、これら各国の疫学結果をまとめてプールして症例および対象の数を増して計算した論文が2編あり[Ahlbom ら (2000)、Greenland ら(2000)]、両者とも $0.3\sim 0.4\mu\text{T}$ 以上の超低周波数磁場への曝露により小児白血病のリスクがやや高くなるとの結論となっている。

日本では1999～2001年度にわたって大規模な疫学調査「生活環境中の電磁界による小児の健康リスク評価に関する研究」が行われた(Kabuto,2006)。わが国では $0.4\mu\text{T}$ を超える住居が少なかった(全症例・対照数の約1%と米国の半分)、従って高曝露例数が少なく統計上の信頼区間が広すぎるが、上記のプール論文の結論とほぼ一致する結果であった。一方、動物実験による長期飼育発がん実験の結果は超低周波数磁場には発がん性を認めなかった(initiation も promotion も証明できなかった)。また細胞学実験、分子生物学実験については、かなりの高磁場曝露を行わない限り生物学的変化が起らない、つまり $0.4\mu\text{T}$ 程度の微弱磁場では再現性のある確実な変化は検出できていない。そもそも超低周波数磁場は生体分子に影響を与えるほどエネルギーをもっていない。

2000年代にはこのような研究結果を基にして国際機関のまとめが刊行された。国際がん研究機構(IARC)が2002年に出した総括は「超低周波数磁場はヒトに対して発がん性をもつかもたない(カテゴリー2B)」というものであった。IARCの論法はヒトについての疫学研究を優先し、発がん性検定法としての動物飼育実験および細胞学実験は補助的知見とするものである。WHO環境健康クライテリア No.238「超低周波数磁場」(2007)ではIARCの結論を追認した。即ち、超低周波数磁場はプールした疫学によれば小児白血病と弱い関連をしめすが、因果関係があると言えるほどの動物実験・細胞学実験による発がん性の証拠はない。また小児では白血病以外の疾患について関連はもっと弱い、さらに成人では超低周波数磁場との関連が一致して明確なものはない。超低周波数磁場には発がんに直結するような有力な生物物理学メカニズムは考え難い。したがって、WHOクライテリアでは送電線・配電線についての規制値に関しては国際委員会・学会(ICNIRP, IEEE)の提案した基準を踏襲している、これらの基準値は既知のヒト神経系に対する電磁界の急性影響を考慮したものである。

IARCのまとめは焦点を超低周波数磁場の発がん性の有無に絞っていて、かつヒトについての研究を重視している。一方WHO環境健康クライテリア No.238ではがん以外の疾患についても目配りをしている。目に付くところを例示すると、超低周波数磁場によるとされる「いわゆる電磁波過敏症」への否定的見解、超低周波数磁場と循環系疾患との関連の否定、超低周波数磁場が内分泌系を攪乱するという「いわゆるメラトニン学説」への懐疑、などは従来のクライテリア(No.35「超低周波数磁場」およびNo.69「磁場」)よりは論旨明快である。

現在では、小児白血病についての臨床研究が進み、化学療法も発展したので、80～90%は治癒する。発病メカニズムについても次のような2段階説が提唱されている。まず胎生期に多数の血液幹細胞の一部に染色体異常が起こる、(この第1の刺激は一般的には電離性放射線、化学物質、などであろう)、この細胞が前白血球クローンとして、細胞死せずに出生後まで温存される。次いで出生後に免疫系を攪乱・暴走させるような第2の刺激がくると僅かな確率ではあるが前白血球クローンが本格的にがん化して白血病を発症する。この第2の刺激は普通の風邪のようなものであって、必ずしも発熱して寝込むようなものでは

ないという。乳幼児期に感染原に曝露せず、長じてから通常より遅れて感染がおこると第2の刺激になるという（M.Greaves の late infection 説）。小児白血病の腫瘍細胞を調べると染色体の転座・融合とか染色体数の過剰などの異常がある場合が多い。上記の英国の疫学調査ではBリンパ球性白血病で染色体を調べた 1013 例の中で正常なものは 13%にすぎなかった、もっとも胎生期から持ち越した異常な前白血球クローンに由来するものがどの程度の寄与があるのか判らない。化学療法薬剤選択も白血病細胞のこうした異常検出に基づいて行われる、特定の染色体異常があると予後が悪い、など判ってきている。今後は一つ一つの白血病細胞の natural history（自然史）を詳細に検討する必要があると言われている。

電磁界の健康影響に 関する研究を辿る

志賀 健
(大阪大学名誉教授)

電力線磁場の研究

1960年以前 ほぼ関心なし

1979年 最初の疫学論文 Wertheimer & Leeper
Wire code指標、電力線以外の可能性

1990年までの疫学ではサポート論文、否定的論文
動物実験: ELF単独、ELF+発がん物質、特別な動物
細胞学の実験: 染色体・遺伝子への影響、その他
(一定の結論に至らず)(社会問題化?)

1990後半から大規模な研究が開始(疫学、実験)
疫学報告:(米)1997,(英)1999,その他、(日)2006

2000年代のまとめ:IARC,2002; WHO-EHC,2007

N.Wertheimer and E.Leeper:
 "Electric Wiring Configurations and Childhood Cancer"
 Am.J.Epidemiol.,109(3),273-284(1979)

(方法)磁場強度測定 [変動(1日中)、好天、勤務時間中、
 負加電流(今、昔)、測定場所]

と屋外配線の外観 [High とLowに2分、後のwire code]

(結果)一般論、がんの種類、発病年齢、市中・郊外差、社会・経済状態、
 家族、交通状況、性差、を解析。

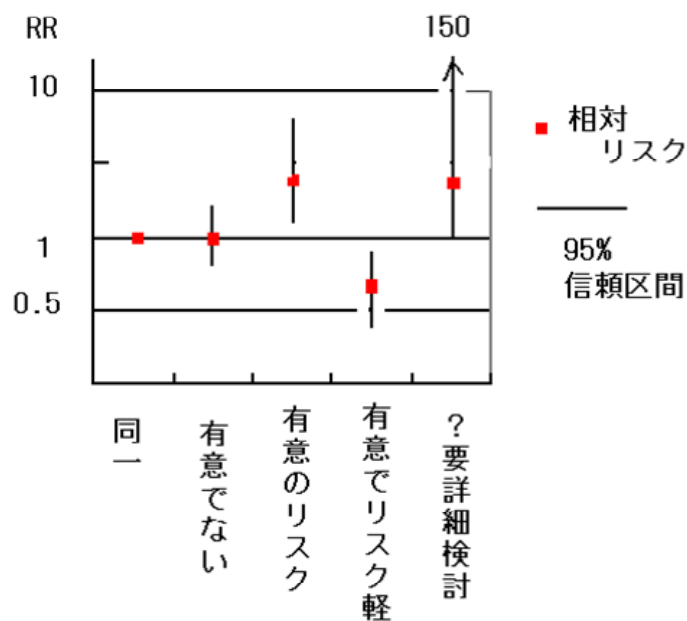
がんの種類: **白血病>脳腫瘍>リンパ腫**

(考察)高電流の架線に近い住居で小児がんが多い

理由はわからない。

- 1) 何らかの第3因子がからむのか: 社会的因子、家族、近隣、街路、など
 - 2) 交流磁場が直接原因というような論拠はない、多分違うだろう。
 - 3) 高電流の何らかの間接影響、たとえば大気中の発がん物質の分布を変えたり、飲用水に影響したり(鉛など)、しかしこれらも疑わしい。
 - 4) 交流磁場が発がんの間接的に影響する、たとえば細胞成長とか免疫反応に変化をもたらすなどの可能性があるかもしれない。
- いずれにせよ、**高電流の架線に近い住居**で小児がんが多い事は確かである。
 (後日の仮説)水道パイプに流れる漏洩電流による(ミニ感電)[Kavet説]

疫学データの表示



Sir A. B. Hill (ロンドン大学、医用統計学名誉教授)
 " The Environment and Disease: Association or Causation ?"
 Proc. Roy. Soc. Med., 58: 295-300 (1965)
 「コレガ原因ダ」と叫ぶ前に「九つの関連」を研究すべきだ。

Association (関連)

Strength (強固さ)*	Plausibility (もっともらしさ)*
Consistency (一致している)*	Coherence (整合性)
Specificity (特異さ)	Experiment (動物実験など)*
Temporality (時間的な順序)	Analogy (類似の場合)
<u>Biological gradient (=dose-response relationship) (曝露量-応答の関係)*</u>	

[R.Doll & A.V.Hill(1956) : タバコの肺癌リスクを示した.]

英 日 米 それぞれの住居曝露(%)

磁場強度(μ T)	日本(%)	米国(%)	英国(%)
0.1未満	89.4	66.0	91.9
0.1~0.2	5.9	23.0	6.1
0.2~0.4	3.5	8.6	1.7
0.4以上	1.2	2.4	0.37

出典: 米国(M.S.Linetら,1997)、英国(UKCCS, 1999)、
 日本(兜らの症例-対照研究の原データを元に計算した、
 小児寝室915戸の1週間平均値)

超々高圧送電線技術専門委員会 (1971～1975)
(報告書: 昭和50年11月)(委員長: 鳳誠三郎)

「日常**人の立入る場所**についての(静電誘導)抑制目標として、
道路では電界強度30V/cm(=**3kV/m**)程度以下、
そのほかのところでは50V/cm程度以下とすることが推奨される。」

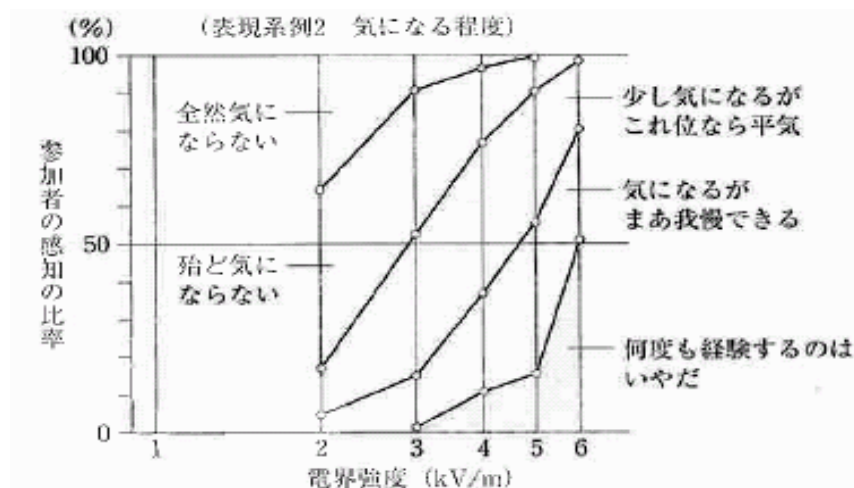
(むすび)

50万V送電線下の静電誘導に関し、人体への影響、感知の程度、
測定および予測方法、低減方法などについて調査研究した。

この報告で示した静電誘導抑制の目標は、内外の資料収集はもとより、
本委員会独自で**感知試験**(1973)と実績調査を行って(全国の感知
例)、審議を重ねて導き出したものである。

(電気協同研究、31(5), 1-51 (1975))

鳳委員会による体感実験 (2～6kV/m、40名)



動物実験： 電磁界への慢性暴露 （マウス、ラット）

正常動物 長期飼育 暴露強度を段階的に設定
発がん, その他の検討
生殖・生育・成長の検討

変異動物 “ “
発がんする動物の発がんを早めるか

2段階発がん法 “ 1段階(X-ray, or DMBA)、2段階として暴露
[initiation] [promotion]

注意点：実験動物（確立された系統）、飼育条件（住、食）、月齢

結果不一致の実例 Loescherたち（独） vs. Andersonら（米）
[SD rat, DMBA乳がん + EMF]

WHO/Environmental Health Criteria, Vol.238, "ELF"

(評価される点)

- ・小児白血病とELF（IARCの2Bを踏襲、病因論が不足）
- ・Hypersensitivity(いわゆる電磁波過敏症)の否定
- ・成人疾患の整理
 - 心臓疾患などを否定
 - 乳がん(メラトニン仮説)の否定
 - 神経変性疾患などの評価整理
- ・政策とその決定過程に関する議論

(問題点)

- ・今後の研究への提言(ランク付け?)
- ・医学生物学的な病因論の不足

小児急性白血病の危険因子と想定されたもの

- **遺伝要因** [染色体異常、DNA修復能低下、SNP]
- **先天性、胎生期** (Down, Shwachman, Bloom, etc)
- **環境要因** [催奇形性、変異原性、発がん性]
- **電離放射線** (父、母 胎児期、本人 出生後)
- **非電離放射線** (交流電磁界?)
- **化学物質** (大気汚染、溶媒、農薬、殺虫剤、など)
- (topoisomerase阻害物質、など)
- **嗜好品** (親の アルコール、タバコ、薬物、など)
- **感染要因** [造血系に作用]
- **後天性** (ビールス[HTLV]、人口移動、遅れた感染)
- **その他**
- (出生経歴、出生時体重)

[M.Belson et al, Environ. Health Persp.,115(1),138-145(2007) より]

胎生期

出生後

1st Hit

2nd Hit



(1%?)

造血幹細胞 = ☠️ => 前白血病 クローン == ☠️ =====> 白血病細胞
=====> (増殖しない)

(1st Hit: 放射線、化学物質、...?)

(2nd Hit: 感染=免疫系を刺激)

[Greaves; late infection説]

電磁界情報センターへの期待

- ・情報収集と情報発信 (リスクコミュニケーション)
・研究費、調査費 (国内外、現場などとの接触・調査)
(研究者への補助、センター自体)

留意点

- ・質問・回答のやりとり（双方向、インターネット上）
- ・誤解への注意（マスコミ、行政、会社、有識者）
- ・出版物、ホームページ、など（Media Patrol ？）