

生活・社会基盤研究のうち生活者ニーズ対応研究

生活環境中電磁界による小児の健康リスク評価に関する研究

独立行政法人国立環境研究所 首席研究官

兜 真徳

■ 1.はじめに

生活環境中の電磁界、とくに商用周波数の低レベル磁界の発がんリスクについては、小児白血病や脳腫瘍を含むがんに対するリスクを示唆する米国デンバーでの Wertheimer & Leeper らの疫学調査報告¹⁾以後 20 年以上にわたり、その可能性に関する研究が行われてきた。1992 年にはスウェーデンにおける疫学調査で高压送電線周辺や屋内の磁界レベルが 0.2 μ T 以上で小児白血病のリスクが上昇することが報告された。1996 年に世界保健機関(WHO)は電磁界の健康リスクに関する環境保健クライテリアの改訂作業を行うため「WHO 国際電磁界プロジェクト」(1996~2000 年、その後 2006 年まで延長)^{2,3)}を開始し、その翌年、低周波磁界についてはリスクが示唆されている高レベルの磁界曝露者が多い地域における小児白血病の疫学調査がさらに必要と指摘した。その後、先行して進められていた米国のラピッド計画⁴⁾における健康リスク評価結果では、2001 年に出された国際がん研究機関(IARC)の発がん性評価“2B”と同様な結論が報告された⁵⁾。それらの評価の基本とされているのは、小児白血病の疫学調査において、住居の磁界レベルが 0.2 μ T あるいは 0.4 μ T 以上でリスクが上昇する傾向が示唆されていることが大きな根拠とされている。このことは、Ahlbom ら⁶⁾や Greenland ら⁷⁾が 2000 年に行ったこれまでの小児白血病の疫学調査結果を用いたプール分析の結果として、全体としてみると 0.3 μ T あるいは 0.4 μ T 以上でリスクが 2 倍程度であったとの知見と一致している。一方、周知のように、米国のラピッド計画のまとめをはじめとして、動物実験や細胞実験ではこの程度の低レベル曝露における影響は確認できないとされている。なお、小児脳腫瘍については、小児白血病の研究に比較して、個々の研究間で磁界曝露指標を含め方法論にも相違が大きく、現状では統一的なリスク評価結果は得られていない(Kheifets ら 1999)⁸⁾。

本研究は、家庭内での磁界と小児白血病及び小児脳腫瘍との関連を明らかにするために、我が国では西欧諸国においてリスクが示唆されている 0.2、0.3 あるいは 0.4 μ T 以上の高曝露者が諸外国に比較して多いのかどうか、人種等が異なる我が国においてもリスクがこれらの磁界レベル以上で上昇傾向を示すかどうか、さらに、量-反応関係が見られるかどうかを調べることを目的とした疫学調査を計画し、本事業として実行された。

■ 2. 方法

本調査は、15 歳未満の小児に関する症例対照研究である。なお、本調査では WHO 国際電磁界プロジェクト等の国際的な研究レビューに基づき、これまでの同種の疫学調査と比較して以下の調査手法の改善が必要と判断された。

- ① 予想されるリスクが小さいことや 0.4 μ T 以上の高曝露集団が少ないことから調査対象者はできるだけ多数とすること
(予想されるリスクが 1.5 倍程度、高曝露集団の割合が西欧諸国と同程度であれば症例は 1000 例程度必要となる)
- ② 情報バイアスを最小限にするために対象症例は新規発症例とすること、
- ③ 曝露推定精度を上げるため、診断日から測定調査までの期間を短縮化すること、
- ④ 面接調査と磁界レベルの実測すること、
- ⑤ 「寝室の磁界レベル」を長時間測定すること(日間および週間変動が大きい場合 1 週間は最低必要)、さらに
- ⑥ 季節変動を考慮し、症例と対照の測定日を近づけること、

こうした基本的要件を考慮しつつ調査方法が決定され、面接調査、環境測定等が実行された。その具体的な組織や方法は以下のものであった。

2.1. 研究組織

本調査の分担研究者のリストは以下の通りである。なお、本研究の総事務局は国立環境研究所(代表:兜真徳)、疫学調査の中央事務局は国立がんセンター(代表:山口直人)が担当した。また、地方事務局として、北関東は自治医科大学、南関東は国立小児病院(現国立成育医療センター)、関西中部北陸は富山医科薬科大学と京都大学、中国四国は広島大学(ただし、2年度目以後)、九州は産業医科大学が担当した。各担当機関における分担研究者は以下の通りである。

国立がんセンター研究所	(山口 直人)
自治医科大学	(中村 好一)
富山医科薬科大学	(鏡森 定信)
京都大学大学院医学研究科	(笠島 茂)
広島大学医学部	(烏帽子田 彰)
産業医科大学	(溝上 哲也)
国立小児病院	(齋藤 友博)
東京女子医科大学	(久保 長生)
鹿児島大学医学部	(秋葉 澄伯)
国立環境研究所	(兜 真徳、新田 裕史)
徳島大学工学部	(伊坂 勝生)

2.2. 症例と対照の選択

2.2.1. 小児白血病

本研究における小児白血病の新規症例の発生情報は、次の 5 つの小児がん治療研究グループを通じて収集された(図 1)。それらグループは、①東京小児がん研究グループ(TCCSG)②小児癌・白血病研究グループ(CCLSG)③東北小児白血病研究会 ④小児白血病研究会(JACLS)および⑤九州・山口小児がん研究グループ(KYCCSG)である。これら5つの治療研究グループの参加施設は、総数 245 であった。

対象とした症例は、先行研究との比較可能性を考慮し、急性リンパ性白血病(ALL)および急性骨髄性白血病(AML)の初発例(年齢 15 歳未満)のみに限定した。以下、それぞれ ALL、AML と呼ぶ。なお、それら白血病およびその病型の診断は、末梢血および骨髄検査における形態学上、免疫学上、細胞学上および分子遺伝学上の特徴に基づいて行われている。

上記 5 治療研究グループから収集された新規症例は、それらの関連病院が全国に分布していることから、最初に全国レベルでリストを整理し、次いで、訪問調査と磁界の直接測定を行う調査対象地域(以下、キャッチメントエリアと呼ぶ。)、すなわち 5 つの地域ブロック(東京、横浜、名古屋、京都、大阪、神戸、北九州、福岡の大都市を含む 18 都府県)内の症例を選出し、調査協力依頼をすることにした(図 1)。キャッチメントエリアを設けた主な理由は、調査者(面接員および環境測定員)の移動範囲の限界と調査効率の向上である。なお、上記キャッチメントエリア内の 18 都府県に居住する小児人口(0~15 歳)は、2000 年現在、全国の 2,000 万人のうちの 1,070 万人(53.3%)であった。

1999 年から 2001 年の間に 5 つの治療研究グループから報告された小児白血病(ALL と AML)の新規症例は計 1439 名であった。これらの症例報告時には症例の住所などは不明であったため、各グループの関連病院の担当医を通して 1,069 名の症例に調査協力(この段階では郵送調査か問診調査かは未定)を依頼した。そのうちキャッチメントエリア内の症例は 791 名であり、他の 648 名のうち 278 名は住所がキャッチメントエリア外の症例、370(648-278)名は研究資源や人的・物理的な制約から依頼できなかった症例(キャッチメントエリア内 54 名、同エリア外 311 名、年齢不詳など 5 名)であった。

訪問調査協力を依頼したキャッチメントエリア内の 791 名のうち、391 名の参加承諾が得られた。ただし、参加承諾が得られた症例 391 名のうち 70 名は診断後転居(25 名)、機材の故障(5 名)、時間がとれなくなり中止(8 名)、郵送調査へ変更依頼(22 名)および診断日が対象期間外であった(10 名)のため解析対象から除外された。

参加者(症例の家族)への事前調査説明が行われた後に、対照候補者を、症例と性、年齢および居住地域をマッチング(年齢は 4 歳未満の症例では $\pm 25\%$ 、4 歳以上では ± 1 歳以内、また、居住地域は同じ地域ブロック内で市町村人口規模(4

区分)が同一)させて選出した。なお、これら対照候補者リストは、調査に先立ち、地域を多段層別無作為抽出した自治体の住民基本台帳から無作為に 123,000 名を選んで作成したものである。すなわち、対照候補の選定は住民基本台帳の閲覧・転記作業の効率を考慮して、多段抽出により、1 次抽出単位は「区市町村」、2 次抽出単位(町村部は省略)は「町名」、3 次抽出単位を「個人」として実施した。まず、設定されたキャッチメントエリア内の区市町村を人口規模と地域性を考慮して 4 つに層別した。具体的には、政令指定都市は単独の層として、区を 1 次抽出単位とする。総人口 20 万人以上の市については原則として単独の層とする。総人口 20 万未満の市部については隣接する区市を 50km 圏を目途にひとつの層とする。町村部については郡を単位として同様に 50km 圏を目途にひとつの層とする。各層からの 1 次抽出区市町村数は 15 歳未満の人口数に比例して決定し、全抽出数がキャッチメントエリア内の区市町村数の 15% となるように、無作為に抽出した。抽出された 1 次抽出単位の区市町村について住民基本台帳の閲覧手続きを行った。次に、2 次抽出単位(町村部は 1 次抽出単位)毎に系統抽出により 15 歳未満の子供の対照候補リストを作成した。2 次抽出単位数は選択された区市内の町名数の 30% とした。抽出間隔は当該層の期待症例数に基づいて、0~4 歳における各性・年齢階級の対照候補者数が 20 名を越えるように決定した。1 次抽出単位の区市町村毎に全体では 15 歳未満の子供 600 名(性 2 階級×年齢 15 階級×20 名)が抽出された。この対照候補者リストの中から、性、年齢および居住地域層が同一の者を無作為に 1 症例当たり 10 候補抽出し、調査協力を郵便により依頼した。なお、最初の依頼に対して未反応の場合の督促依頼は 3 名の対照が得られるまで最大 4 回行った。3,833 名の対照候補者へ調査依頼が行われ、1,097 名(28.6%)の参加承諾が得られた。そのうち、面接と磁界測定が完了したものは 634 名であった。

解析対象となった症例 321 名のうちの 9 名が、対照 634 名のうちの 31 名が、マッチングセットが成立しなかったために条件付ロジスティック回帰分析では除外された。

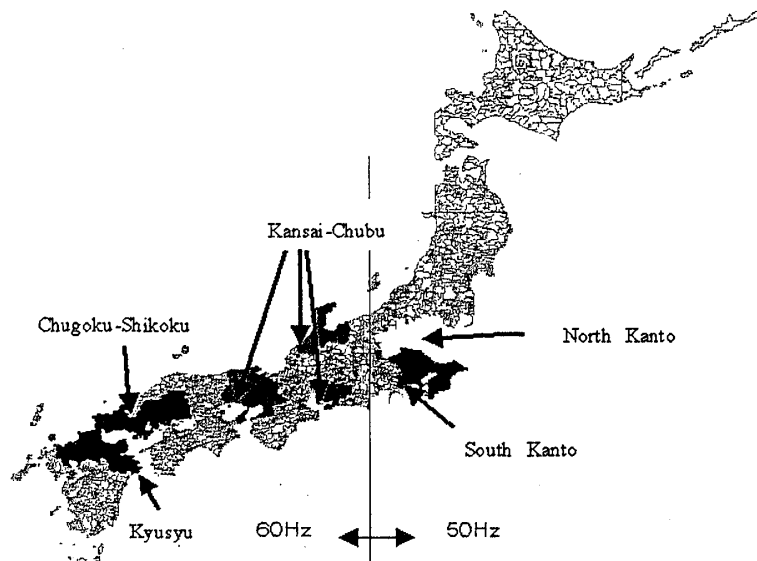


図 1. キャッチメントエリア

2.2.2. 小児脳腫瘍

本研究において症例候補者として登録された脳腫瘍症例は、診断時の年齢 15 歳未満で、全国の主要 107 病院の脳神経外科ネットワークを通じて同定された者とした。調査期間内に 324 名が登録された。これらの者のうち 167 名がキャッチメントエリア内に居住していた。調査協力は、担当医を通じて症例家族に対して依頼した。調査協力依頼の対象であった 167 名のうち、実際に担当医から依頼されたのは 72 名であり、全員から参加承諾が得られた。したがって、参加率は実質的に 100 %であった。なお、このうち、7 名は診断日以降に転居したため対象から除いた。さらに、9 名はマッチングのとれた対照が得られず(うち 3 名は調査終了後に承諾してきた例、1 名は郵送調査を希望であり、これらの対照者候補の抽出は行って

いない)、1名は病理検査から脳腫瘍ではないことが判明したため除外され、最終的に条件付ロジスティック回帰分析の解析対象となった有効症例数は55名であった。

調査協力に承諾した症例の家族に事前調査説明を行い、調査への参加予定を確認できたところで対照候補者を選定した。対照候補者リストは小児白血病の場合と同一のものをを用いた。このリストから性、年齢および居住地域層が症例と同一の者をランダムに10候補抽出した。そして、1症例につき3例の対照が得られるまで、郵便により最大4回、対象候補に対して調査協力依頼を行った。全体として692名の対照候補者へ調査依頼が行われ、189名(27.3%)の参加が得られた。このうち90例はマッチングペアである症例が診断日以降転居等の理由(具体的には、症例転居のためマッチング症例がなくなった(9名)、対照が4名以上となり郵送調査に変更あるいは調査を中止(40名)、承諾後に中止あるいは郵送に変更したもの18名、対照者自身が転居していたもの10名、症例が郵送に変更したため除外された者5名、測定機器の故障が1名、その他の理由6名であった)で除外されたため解析から除いた。

共同研究者の専門医が組織病理学的検査を行い脳腫瘍分類の確認等を行った。解析対象の症例55例中、悪性度IVのものは12例、そのうち10例が神経膠腫(大脳、小脳、視床、脳幹)、3例が奇形腫(傍鞍部、松果体、視床下部-下垂体)であった。悪性度IIIは2例で、2例とも神経膠腫であった。なお、症例全体のうち、神経膠腫は悪性度IとIIを含め27例、頭蓋咽頭腫(傍鞍部)9例、その他(大脳血管腫など)3例であった。なお、56例中3例は組織分類ができなかった(しかし、この3例は脳腫瘍による手術例であったので解析対象には加えた)。

2.3. 訪問調査

訪問調査は小児白血病ならびに小児脳腫瘍について共通の方法で実施した。5つの調査地域(地域事務局)にそれぞれ1~3人の訓練された面接調査員と環境測定員をそれぞれ配置した。訪問調査で使用した調査票は留置用と面接用の2種類であり、留置用調査票は訪問日前に郵送して事前に記入を依頼し、面接用調査票は訪問時に面接調査員が対象者の保護者(原則として母親)からの聞き取りによって記入した。なお、留置用調査票の記入状況は訪問時に点検し、記入漏れ等の確認を行った。両調査票の項目として、家族の既往症(受診歴)、妊娠期間から出生後罹患日までの居住歴、住居の形式、母親の学歴、対象児の予防接種歴、母親および対象児の電気製品の使用状況、母親の対象児妊娠期間中におけるX線検査受診歴、薬剤の使用、喫煙、飲酒、殺虫剤や他の農薬の使用、および、母親と父親の職歴等が含まれる。(添付資料参照)

2.4. 郵送調査

訪問調査対象外とされたキャッチメントエリア外の症例の一部について、担当医を通して調査協力依頼を行い、承諾が得られた症例について、1人の対照者をマッチさせた調査を実施した。この場合、対照候補者は、訪問調査のためにキャッチメントエリア内の地域から選択された対照候補者リストの中から、性、年齢および居住地域をマッチング(年齢は4歳未満の症例では±25%、4歳以上では±1歳以内、また、居住地域は人口規模のみを一致させて、1症例に対して5名抽出し、依頼を行った)。

調査は、郵送により質問票(郵送用:添付資料参照)と磁界測定器(Enertech社製、EMDEX-Lite)を宅配便で各世帯に送付し、磁界の1週間測定と質問票の記入が終了したところで、宅配便で返送してもらった。

有効症例数は、小児白血病111例と小児脳腫瘍10例で、それらの対照者数はそれぞれ149と12であった。ただし、磁界測定をの協力が得られたのは小児白血病の症例50例、対照者73例、脳腫瘍では症例5例と対照者5例であった。これらの「寝室の磁界レベル」が0.3 μT以上を示した症例と対照数はいずれも0であり、訪問調査の対象者と同様なリスクに関する検討はできなかった。

2.5. 磁界等の測定

磁界等の測定は、訪問調査と同様に小児白血病と小児脳腫瘍の両調査を問わず共通の方法で実施した。

2.5.1. 磁界レベル

測定は磁界測定器(EMDEX-Lite, Enertech 社製(測定周波数帯域:40Hz~1kHz))(図 2)により行った。測定器の設置場所は対象児の寝室とした。設置位置は下記のスポット測定によって、50cm 四方 4 地点の測定値の偏差が 10%以内であることを確認の上で決定した。訪問時に測定を開始し、訪問日から 1 週間後に宅配便で磁界測定器を返送するように依頼した。なお、一部の対象世帯では対象児が日常最も長く過ごす部屋(居間)についての 1 週間測定もあわせて実施した。

なお、これまでの兜ら¹⁰⁾の一連の調査研究から、1 週間の屋内の磁界レベルが比較的高い場合は、屋外の電力設備(高圧送電線、配電線、変圧器など)や屋内の配線系統から発生する進入する磁界を反映していることが予想された。また、先行研究においても、同様な測定を行いそれらを用いて暴露指標を計算で求めている場合などもあるため、以下のような対象家屋の内外の数地点における 5 分間のスポット測定を行った。測定器は EMDEX-II (Enertech 社製(測定周波数帯域:40Hz~800Hz))(図 2)を用いた。測定地点は対象児の寝室の中心および就寝時の頭部位置、対象児が最も長く居る部屋の中心、一戸建ての場合には敷地境界の四隅(「周辺磁界レベル」)および近接する電柱の磁場、集合住宅の場合には玄関ドアおよび玄関と反対側の窓(「玄関磁界レベル」)である。さらに、高圧送電線から 100m 以内の対象家屋については可能な限り家屋から送電線までの道路に沿って、距離別の磁界レベルを測定した。

これらの測定器による測定磁界レベルはいずれも 3 軸方向の実効平均値である。

Friedman ら⁹⁾、および、兜ら¹⁰⁾のこれまでの研究などから、寝室における磁界レベルの 24 時間連続測定平均値は個人曝露量の良好な代替指標となることが示唆されているので、本研究における代表的な磁界曝露指標として、小児の寝室における磁界レベルを 1 週間連続測定した時の算術平均値(以下、「寝室の磁界レベル」と表記する)を用いた。1 週間測定を選んだのは、日内変動のほか、週内変動(比較的高磁界レベルを示す高圧送電線近傍などでは、週末に低下する傾向が見られる場合が多い)を考慮したためである。なお、これまでの疫学調査結果との比較のため、1 週間夜間平均磁界レベル(19 時~7 時)、1 週間昼間平均磁界レベル(7 時~19 時)、日曜日平均磁界レベル、水曜日平均磁界レベルあるいは 1 週間幾何平均磁界レベル、最大、最小レベル、50 パーセンタイルおよび 90 パーセンタイル値を求めた。

また、本研究では架空高圧送電線の電圧規格が 22kV-500kV のものと定義して、対象者の住居から 100m 以内に該当する高圧送電線があった場合は、住居からその送電線までの距離をレーザー光距離測定器(Yardge Pro Model 20-1000, Bushnell Corp)により測定した。また、各対象者の調査の際や GIS を用いた解析には、電力会社 10 社から提供された高圧送電線の経路地図を用いた。

さらに、これまでのいくつかの疫学調査で示されている、妊娠開始から当該疾病の診断日までを「影響することが疑われる期間 (period of inquiry)」とする考え方を採用して、家族の転居歴に関する情報に基づき、妊娠開始日から診断日の期間に占める診断日現在居住している家屋での居住期間の割合を「居住期間(%)」と定義した(図 3)。なお、対照の場合の診断日はマッチングペアの症例の診断日を当てた。

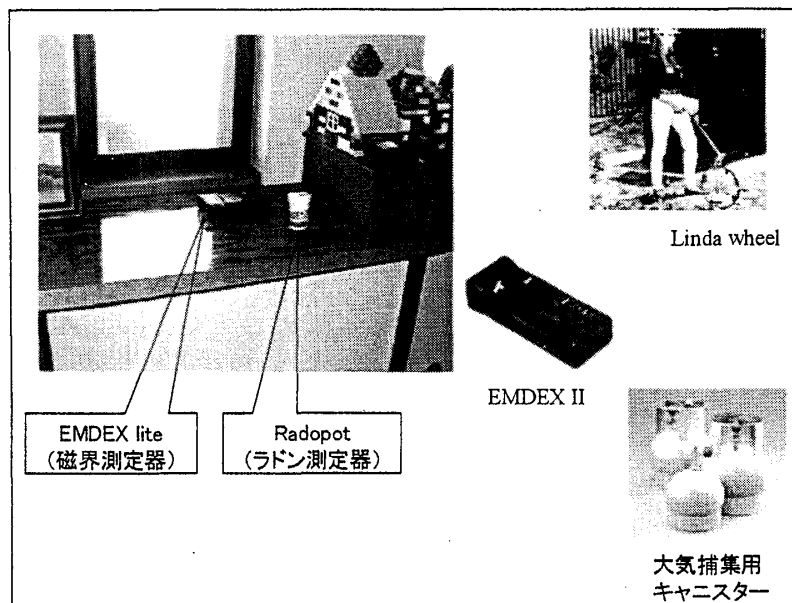


図 2.磁界測定、ラドン測定、ベンゼン測定に用いた機器を示す。右上は、送電線までの距離別の磁界測定を行うために用いられた機器である。

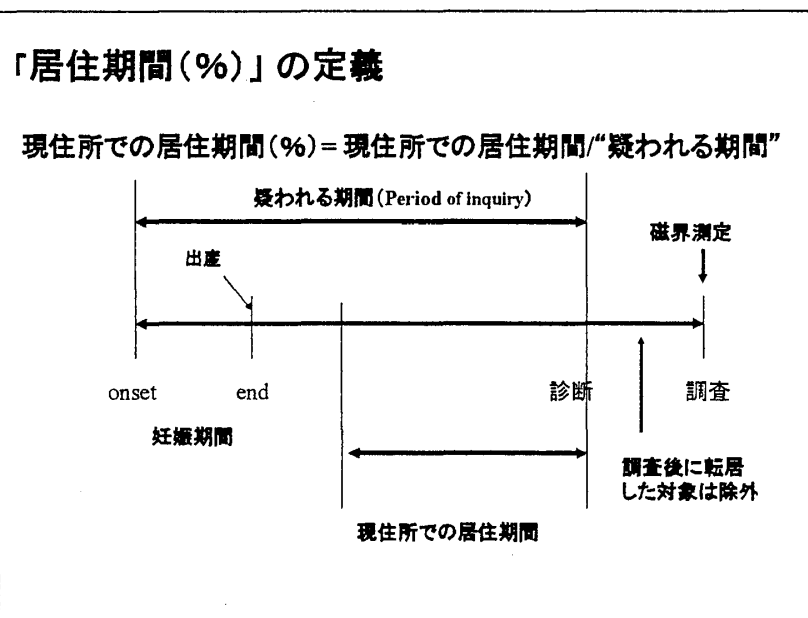


図 3.診断日現在における調査対象家屋での「居住期間(%)」の概念図

2.5.2. その他の環境測定

訪問調査した症例対照の一部については、磁界レベルのほか、屋内のラドン、環境放射線およびベンゼンの測定を実施した(集計結果は、添付資料参照)。

環境放射線は、ガンマ線測定器(アロカ社製シンチレーションサーベイメータ TCS-171)により、磁界のスポット測定と同時に同じ測定個所について行った。ラドン濃度は対象世帯のうち、症例 1、対照 1 について実施した。ラドン濃度の測定は Radopot(77 Elektronika Ltd.製)を用いて、passive 法により行った。このラドン測定器は直径約 35mm、高さ 55mm の円筒形プラスチックの内部に CR-39 検出器(10×10×1 mm)を含むものである。この Radopot を各世帯の対象児の寝室に 6 ヶ月間設置し、その後回収して、検出器のアルファ線飛跡を計測し、空気中のラドン濃度に換算した(Tokonami S. et al.)¹¹⁾。ベンゼン

等大気汚染物質の測定は、キャニスター(1.8 L)を用いて対象世帯の対象児の寝室で屋内空気の捕集を行った。対象世帯は東京都および神奈川県内の対象世帯に限定した。捕集時間は1時間で、寝室の中央、床面1mの位置で捕集した。捕集した試料はガスクロマトグラフにより、ベンゼン濃度を測定した。

2.6. 解析方法

小児白血病に関する症例対照研究では、白血病症例312名(ALL症例251名およびAML症例61名)および対照603例(ALL対照495名およびAML対照108名)を解析対象とした。

磁界の低曝露群において、非線形の量-反応関係がある可能性があるため、はじめに、Greenlandら¹²⁾の方法により、0.05 μ T 間隔の「寝室の磁界レベル」と小児白血病リスクとの関連を解析した。この解析結果から、より細かなカテゴリー化の必要がないことが示唆されたので、「寝室の磁界レベル」は、先行研究との比較を容易にするために、0.1 μ T、0.2 μ T および0.4 μ T をカットポイントとしてカテゴリー化した。一方、小児脳腫瘍についても、当初「寝室の磁界レベル」をカテゴリー化する際のカットポイントは、先行研究および今回の小児白血病のリスク解析と同様に0.1 μ T、0.2 μ T および0.4 μ T としていたが、対象者の分布に偏りがあったため、カットポイントを0.05 μ T、0.2 μ T および0.4 μ T に変更して、4段階の磁界曝露カテゴリーによる脳腫瘍発症リスクの比較を行った。また、0.3 μ T 以上でもリスク上昇傾向が認められたため、カットポイントを0.05 μ T と0.3 μ T で3段階に分けた解析も行った。

なお、小児白血病と小児脳腫瘍のいずれの場合にも、交絡の可能性のある要因の影響については、ロジスティック回帰分析モデルの中に共変量として含めた場合と含めなかった場合との比較によって、高「寝室の磁界レベル」のリスクが影響されるかどうかによって調べた。検討した主要項目は、母親の教育レベル(質問では、小学校と中学校を含めた就学年数で聞いており、12年以下を高卒未満、13年以上を短大・大学卒以上と定義した)、対象児の予防接種歴(小児麻痺、三種混合(ジフテリア、百日咳、破傷風)、二種混合(ジフテリア、破傷風)、麻疹(はしか)、風疹(三日はしか)、流行性耳下腺炎、MMR(はしか、風疹、流行性耳下腺炎)、水痘瘡、日本脳炎、BCGの10種)、母親の喫煙歴、X線検査歴、電気製品・電子機器類(電気毛布、ホットカーペット、電気あんか、電動ミシン、ヘヤードライヤーなど、超音波加湿器、ヘッドフォン式CDやMD、ウオーターベッド(ヒータ式)、電気掃除機、電気便座の10種のほか、テレビ、電子レンジ、電気時計、携帯電話等)の使用歴および妊娠中あるいは妊娠前の殺虫剤の使用、子供の電気製品・電子機器類(電気毛布、ホットカーペット、電気あんか、ウオーターベッド(ヒータ式)、超音波加湿器、ヘヤードライヤー、子供部屋の寝室の照明、ヘッドフォン式CDやMDなど、あるいはヘッドフォンを使わないステレオ・ラジカセなど9種のほか、テレビゲーム、パソコン、電気時計等)の使用歴、子供部屋の環境放射線である。また、一部の対象について測定した室内のラドン濃度やベンゼン濃度についても検討した。

なお、プール解析を行った先行研究では母親の教育レベルを社会経済因子として、それを調整因子とした解析をしているので、本研究でも母親の教育レベルを社会経済因子の指標として調整しつつ「寝室の磁界レベル」のリスク解析を行うことにした。

小児白血病と小児脳腫瘍のいずれについても、条件付ロジスティック回帰分析法を用い、「寝室の磁界レベル」の白血病もしくは脳腫瘍に対するオッズ比を求めた。解析プログラムにはSAS社PC-SAS(version8.2)のPHREGプロシジヤを用いた。調整オッズ比と95%信頼区間を求め、調整オッズ比(95%信頼区間:下限-上限)の形で示した。なお、本報告における条件付きロジスティック回帰分析では、断りのない限り母親の教育レベルを調整したオッズ比として示した。

■ 3. 結果と考察

小児白血病と脳腫瘍ともに、先行研究と比較して、診断から調査までの平均期間が1.1年と短縮化されたこと、「寝室の磁界レベル」が1週間測定評価されたこと、また、同測定が同時に選択された症例と対照のセットについてほぼ同時(平均2.6日の差)で行われたこと、などの点が改善されており、各種の誤差の低減化に寄与していることが期待される。

3.1. 小児白血病

対象者の基本的プロフィール(性別、年齢、父親と母親の教育レベル、母親の妊娠中の喫煙歴と飲酒歴、居住地域の人口、商用周波数50Hzあるいは60Hz、住居のタイプ(一戸建あるいは集合住宅)、居住期間(%))、居住期間(現住宅での居住月

数)について、小児白血病全体、ALL および AML 別に示した(表 1)。結果、症例ではそれらの対照より父親と母親の教育レベルがやや低い傾向があり、また、母親では妊娠期間中の喫煙率がやや高い傾向があったが、いずれも有意な差は見られなかった。

本研究では「寝室の磁界レベル」を磁界暴露の指標としているため、その他の縛指標との相関を調べた。「寝室の磁界レベル」と、子供部屋での 1 週間夜間平均磁界レベル(19 時-7 時)、1 週間昼間平均磁界レベル(7 時-19 時)、日曜日平均磁界レベル、水曜日平均磁界レベルあるいは 1 週間幾何平均磁界レベルとの相関は高く、相関係数は 0.94 以上であった。しかし、1 週間の最大レベルとの相関は弱かった($r=0.14$)。以上の結果を(表 2)に示す。なお、対象者のうち、以下の解析でリスク上昇を示した「寝室の磁界レベル」が $0.4\mu\text{T}$ 以上の高磁界曝露群においては、時間平均磁界レベルの 1 週間の変動に日内変動(時間変動)や週内変動(日変動)がみられるか、あるいは持続的に高レベルが続くなど、電力設備や配電設備の近傍で一般に見られる特徴を示していた(図 4)。測定器の近傍で電気機器を利用した時に測定されるような一過性の高レベル磁界が測定されており、それによって高い「寝室の磁界レベル」となっていると思われる例は、小児白血病の候曝露群には含まれていなかった。

対象者の中で磁界レベルが $0.4\mu\text{T}$ 以上の割合は小さかった。症例の場合は 1.9 %および対照の場合は 0.8%であった(表 3)。一方、磁界レベルが $0.4\mu\text{T}$ 以上の場合の 1 週間の磁界レベルの変動を見ると、症例と対照いずれの場合にも昼間に高く夜間に低くなる周期的変動を示していた。さらに、これらの群においては、一戸建ての場合では「周辺磁界レベル」の中の最高レベル、また、集合住宅の場合では「玄関磁界レベル」と「寝室の磁界レベル」とを比較すると各対象家屋の屋内磁界レベルと類似した値を示していた(表 4)。上述のように 1 週間の子供の寝室の磁界レベルの変動パターンと組み合わせて考えると、高い寝室の磁界レベルには屋外の電力施設からの磁界が全体的に寄与しているものと考えられる。

条件付きロジスティック回帰分析を行った結果を表 3 に示した。小児白血病全体(ALL+AML)を対象とした場合、参照カテゴリー群($0.1\mu\text{T}$ 未満)を基準とした調整オッズ比は、磁界レベルが $0.1\sim 0.2\mu\text{T}$ の群 では 0.94 (0.52 - 1.70)、 $0.2\sim 0.4\mu\text{T}$ の群 では 1.09 (0.52 - 2.32)、 $0.4\mu\text{T}$ 以上の群では 2.6(0.77-8.96)であり、 $0.4\mu\text{T}$ まではオッズの上昇はみられず、 $0.4\mu\text{T}$ 以上の群で上昇する傾向が見られたが統計的に有意ではなかった。他の磁界レベルのパラメータについても同様な解析を行った結果、いずれの場合にも同様の傾向が示された。

さらに、ALL と AML を分けて解析すると、ALL では有意なリスク上昇を示していた(上記と同様な調整オッズ比は、磁界レベルが $0.1\sim 0.2\mu\text{T}$ の群 では 0.94 (0.52 - 1.70)、 $0.2\sim 0.4\mu\text{T}$ の群 では 1.09 (0.52 - 2.32)、 $0.4\mu\text{T}$ 以上の群では 4.73 (1.14-19.7))であった(表 5)。AML では、「寝室の磁界レベル」が $0.4\mu\text{T}$ 以上を示す症例がいなかった(対照は 2 例あった)ことから、同レベルのリスクは 0 となり、上記の小児白血病全体についてのリスク上昇傾向は ALL での有意なリスクを反映していることが示唆された。

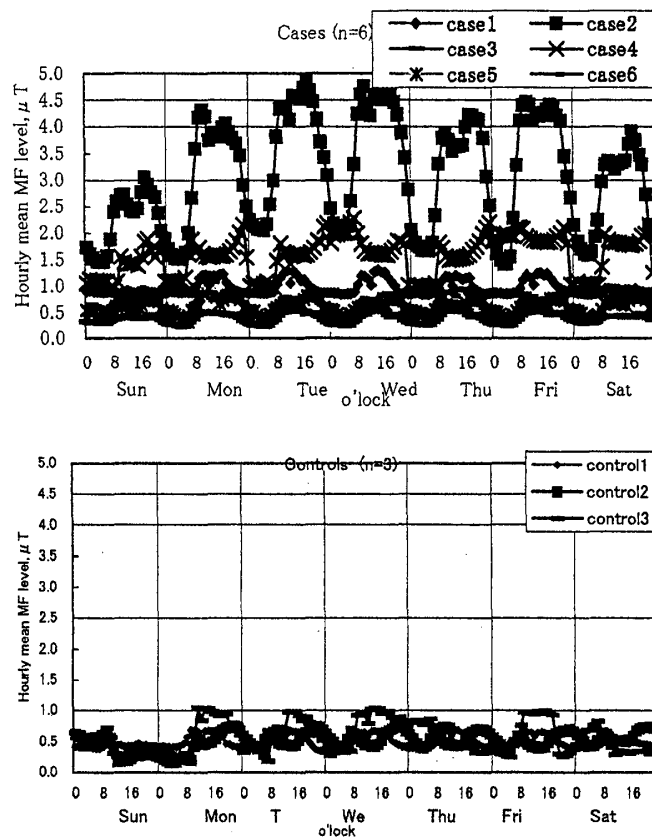


図4:「寝室の磁界レベル」が $0.4\mu\text{T}$ 以上であった
症例(上图)と対照(下图)の1週間の時間平均磁界レベル変動パターンを示す
(なお、本図はALLの症例と対照について図示したものである)

次に、年齢を10歳未満、8歳未満あるいは6歳未満に限定した場合の「寝室の磁界レベル」のリスクを解析した(表6)。表4の高暴露群の個人別プロフィールからも明かなように、10歳未満あるいは8歳未満に制限した場合には、 $0.4\mu\text{T}$ 以上のリスクは大きく上昇し、調整オッズ比はそれぞれ4.32 (1.00-18.7)および7.25 (1.36-38.5)と、全年齢群に比較して大きくなり、統計的にも有意となった。若年者においてリスクが大きいことは、カナダやドイツの先行研究でも指摘されており、若年者では屋内の磁界に暴露される時間が長いことや若年者では磁界に感受性が高い可能性などを示唆している可能性を示唆しているのかも知れない。また、男女別の解析では、男子でリスクが高く、50Hzと60Hzの地域別では、50Hzの地域でのリスクが高い傾向を示したが、これらの傾向の意義については、高暴露群が少なかった本調査の結果のみから判断するのは困難である。さらに、居住期間(%)を限定した解析を試みたが、居住期間(%)が10%以上で「寝室の磁界レベル」が $0.4\mu\text{T}$ の調整オッズ比は最大となり、さらに20%以上あるいは40%以上ではオッズ比はやや小さくなるものの、ほとんど変化しないが、60%以上では低下し、80%以上では $0.4\mu\text{T}$ 以上の区分に症例は残るが、対照がいなくなった。居住期間(%)を限定した場合にオッズ比が大きくなる傾向が見られることは、本研究における磁界暴露推定法の安定性を示していると考えられる。ここでは、磁界暴露を「寝室の磁界レベル」X(診断までの居住期間)」と見なしているからである。

潜在的交絡因子が小児白血病(ALL+AML)のリスクに影響するかどうかをいくつか検討した結果を表7に示した。潜在的交絡因子を投入したいずれのモデルにおいても、上記リスクに大きく影響しているものは見られなかった。また、室内ラドンおよびベンゼン濃度の分布については、いずれも症例-対照間で差異は見られなかった(添付資料中の比較データを参照されたい)。また、ALLに対する

$0.4\mu\text{T}$ 以上の「寝室の磁界レベル」のリスクに対する同じ潜在的交絡因子の影響を調べてみたが、結果は同様に、同リスクはほとんど変化を示さなかった。したがって、これらの交絡因子の影響はあってもきわめて小さいことが示唆された。

諸外国の先行研究では高圧送電線が近傍にあることが高い「寝室の磁界レベル」をもたらす主たる要因の1つと考えられたことから、住居から最寄の送電線までの距離別に小児白血病のリスクを調べた。その結果、小児白血病のリスクに関する

調整オッズ比は、住居から送電線までの距離が 100m 超を参照カテゴリーとすると、50-100m および 50m 未満のカテゴリーで、それぞれ 1.56 (0.87-2.91) (症例 22 と対照 30) と 3.23 (1.39-7.54) (症例 13 と対照 10) であった。同様に、ALL のみでは、それぞれ 1.36 (0.70-2.65) (症例 17 と対照 27) と 3.68 (1.47-9.21) (症例 12 と対照 8) であったことから、高圧送電線近傍でのリスク上昇が示唆される。なお、「寝室の磁界レベル」が $0.4 \mu\text{T}$ 以上であった白血病の症例 (すべて ALL) 6 例のうち住居から最も近い送電線までの距離が 100m 以内であったのは 4 例、対照では 5 例中 2 例であった。こうした傾向については、これまでの送電線からの距離や "Wire Code" (送電線規格と距離を考慮して磁界レベルを示す指標) の白血病リスクについて調べてきた先行研究の結果に相違があり、最近では、直接磁界レベルを測定しそのリスクを調べるようになっていることも関連するので、さらに解析が必要と考えられる。

本調査においても、これまでの多くの先行研究に対して指摘されてきたと同様にバイアスの影響を考慮しなければならない。まず、症例の調査への参加率が約 50% であったことから症例の選択バイアスが懸念された。この点を検討するために、5 つの小児がん治療研究グループの中で最も多い症例が登録された東京小児がん研究グループにおいて、登録された白血病症例のうち非参加の理由について小児科担当医に対する聞き取り調査を実施した。その結果、依頼をしたが家族が拒否をした割合は非参加者のうちの 24% (全体の 12%) であり、残りは治療が緊急を要していたため依頼できなかったか、担当医が家族に依頼するタイミングを得られなかったものであった。つまり、担当医が依頼した家族に限れば約 80 % ((62-12)/62) の参加率があったことになる。したがって、選択バイアスが入る余地はあっても小さいと推察された。

その他、症例と対照の選択バイアスとして、住居から最寄の送電線までの距離が考えられた。すなわち、高圧送電線が近傍にあることによって本調査への関心が異なり、そのために近傍ではその他の地域と参加率が異なる可能性である。その点をまず対照群について検討した。つまり、調査への協力依頼をした全対照候補者 3833 名のうち承諾の有無と送電線からの距離との関係を検討した。この場合の距離は実測値ではなく、電力会社から提供された高圧送電線マップと数値地図 (国土地理院) を照合して得られた送電線位置情報と、調査参加依頼をした対象者の住所情報を緯度経度変換した位置情報をもとに GIS (geographic information system) を用いて推計したものである。その結果、全対照候補のうち、承諾者では高圧送電線から 100m 以内に居住していた者は 12.4% に対し、未反応者では 11.5% であり、有意な差はみられなかった。つまり、対照者については少なくとも高圧送電線が近傍にあることが、その他の地域と比較して参加率が異なっている可能性は小さいことが示唆された。他方、同様な検討を症例についても行いたかったが、参加しなかった人を追跡してインフォームドコンセントを得ること自体倫理指針および個人情報の保護の観点から問題があると考えられたので、中止した。

そこで、症例の選択バイアスについてさらに検討するために、参考までに、白血病症例の非参加者の磁界レベルは全て $0.1 \mu\text{T}$ 以下であると仮定し、また、上述の検討から示唆されたように対照者のうちの非参加者の磁界レベルの分布が参加者の磁界レベルのそれと同じであると言う前提ですべての対照候補者を対象とした場合について、マッチングしないロジスティック回帰分析を行った。結果、調整オッズ比は 1.4 (トレンドは有意: $p=0.04$) であり、極端な仮定のもとでも正のリスクが残ることが示唆された。

表 1. 対象者の基本的プロフィール -症例と対照の比較-

		小児白血病				急性リンパ性白血病(ALL)				急性骨髄性白血病(AML)			
		症例		対照		症例		対照		症例		対照	
		312	100.0	603	100.0	251	100.0	495	100.0	61	100.0	108	100.0
性別	男	178	57.1	343	56.9	146	58.2	287	58.0	32	52.5	56	51.9
	女	134	42.9	260	43.1	105	41.8	208	42.0	29	47.5	52	48.1
診断時年齢	5才以下	148	44.9	336	55.7	124	49.4	250	50.5	24	39.3	44	40.7
	6-9才	98	18.6	145	24.0	74	29.4	146	29.5	22	36.1	41	38.0
	10才以上	66	17.0	122	20.2	53	21.1	99	20.0	15	24.6	23	21.3
父親教育	高卒以上	144	46.1	207	34.3	111	44.2	179	36.16	28	54.1	28	25.9
	短大・大学以上	163	53.9	396	65.7	140	55.8	316	63.9	33	45.9	80	74.3
母親教育	高卒以上	150	48.1	242	40.1	120	47.8	201	40.6	30	49.2	41	37.9
	短大・大学以上	162	51.9	361	59.9	131	52.2	294	59.4	31	50.8	67	62.0
母親・妊娠中の													
	喫煙 有り	40	12.8	51	8.5	33	13.2	42	8.5	7	11.5	9	8.3
	無し	271	86.9	551	93.0	217	86.8	452	91.5	54	88.5	99	91.7
	飲酒 有り	83	26.6	188	31.2	67	26.8	152	30.8	16	26.2	36	33.3
	無し	228	73.1	414	68.7	183	73.2	342	69.2	45	73.8	72	67.7
居住地域の人口													
	1万未満	101	33.8	204	32.3	80	31.9	164	33.1	21	34.4	40	37.0
	1-20万	105	34.5	208	33.7	84	33.5	170	34.3	21	34.4	38	35.2
	20万以上	67	20.2	122	21.5	57	22.7	106	21.4	10	16.4	16	14.8
	政令都市	39	11.5	69	12.3	30	11.9	55	11.1	9	14.8	14	13.0
商用周波数	50 Hz	133	42.6	265	44.0	112	46.5	230	44.6	21	34.4	35	32.4
	60 Hz	179	57.4	560	56.0	139	53.5	265	55.4	40	65.6	73	67.6
住居タイプ	一戸建て	173	55.4	350	58.0	141	56.2	283	57.2	32	52.5	67	62.0
	集合住宅	133	42.6	246	40.8	106	42.2	205	41.4	27	44.3	41	38.0
“居住期間(%)”	80未満	155	49.7	316	52.4	129	51.4	261	52.7	26	42.6	55	50.9
	80以上	157	50.3	287	47.6	122	48.6	234	47.3	35	57.4	53	49.1
居住期間(月)	12未満	45	14.4	75	12.4	39	15.5	58	11.7	6	8.8	17	15.7
	12以上	267	85.6	528	87.5	212	84.5	437	88.3	55	90.2	91	84.3

*欠損値があるので症例と対照の総数と合わない。**居住期間(%)については文中の説明を参照。

表 2. 「寝室の磁界レベル」とその他の磁界レベルパラメータとの相関

	「寝室の磁界レベル」との相関係数
子供の寝室の1週間平均レベル	
夜間平均 (7pm-7am)	0.991
昼間平均 (7am-7pm)	0.995
幾何平均	0.997
50 パーセンタイル	0.994
90 パーセンタイル	0.988
時間平均の最大レベル	0.140
時間平均の最低レベル	0.935
居間の1週間平均レベル	
全平均 (n= 311)	0.905
幾何平均	0.927
子供の寝室の日平均レベル	
日曜の平均レベル	0.976
水曜の平均レベル	0.933
スポット測定によるレベル	
子供が最も長くいる部屋	0.833
「周辺磁界レベル」(一戸建て)	0.952
「玄関磁界レベル」(集合住宅)	0.726

表 3. 「寝室の磁界レベル」の小児白血病(ALL+AML)に対するリスク

-症例・対照をマッチさせた解析-

	小児白血病 (ALL+ AML)		
	症例	対照	調整オッズ比*(95%信頼区間)
「寝室の磁界レベル」(μ T)	312	603	
0.1 未満	276	542	1.00
0.1-0.2	18	36	0.94 (0.52 - 1.70)
0.2-0.4	12	20	1.09 (0.52 - 2.32)
0.4 以上	6	5	2.63 (0.77 - 8.96)

*母親の教育レベルを調整した場合のオッズ比。

表4: 「寝室の磁界レベル」が0.4 μ Tを示した対照と症例の個別プロフィール

	性別 r	診断時 年齢 (才)	白血病の タイプ	「寝室の 磁界レベ ル」(μ T)	屋外の最 大磁界レ ベル(μ T)	住宅のタイ プ	近傍の送電 線からの距 離	近傍の送電 線の電圧規 格 (kV)
対照	女	3.1	ALL	0.58	0.96	戸建	< 100 m	275
	女	9.4	AML	0.59	0.54	集合	< 100 m	60
	男	2.4	ALL	0.56	0.24	集合	100+ m	-
	男	11.1	AML	0.49	0.68	戸建	100+ m	
	男	11.5	ALL	0.50	0.15	集合	100+ m	-
症例	女	2.2	ALL	1.58	0.73	集合	< 100 m	275
	男	5.0	ALL	0.97	0.93	集合	< 100 m	66
	男	5.7	ALL	0.61	0.15	集合	100+ m	-
	男	6.2	ALL	3.10	2.84	戸建	< 100 m	275
	男	6.4	ALL	0.67	1.28	集合	< 100 m	154
	男	12.0	ALL	0.40	0.59	集合	100+ m	-

※: 屋外の最大磁界レベルは、一戸建ての場合には土地の4隅、集合住宅では玄関と反対の窓での磁界レベルのうち最も高レベルのもののことである。

表5. 「寝室の磁界レベル」のALLに対するリスク

-症例・対照をマッチさせた解析-

夜間の「寝室の磁界レベル」 (μ T)	ALL		
	症例	対照	調整オッズ比*(95%信頼区間)
	251	495	
0.1 未満	223	447	1.00
0.1-0.2	14	29	0.89 (0.46 - 1.75)
0.2-0.4	8	16	1.03 (0.42 - 2.52)
0.4 以上	6	3	4.73 (1.14 - 19.7)

*母親の教育レベルを調整した場合のオッズ比。

表6. 対象者の年齢を制限した場合の「寝室の磁界レベル」の小児白血病(ALL+AML)に対するリスク

- 症例・対照をマッチさせた解析 -

	調整オッズ比 (95%信頼区間)*		
	寝室の磁界レベルのカテゴリー		
	0.1-0.2 μ T	0.2-0.4 μ T	0.4 μ T 以上
小児白血病(ALL+AML)			
対象 10歳未満のみ	0.89 (0.43-1.86)	0.81 (0.32-2.02)	4.32 (1.00-18.7)
対象 8歳未満のみ	1.01 (0.48-2.15)	0.76 (0.30-1.89)	7.25 (1.36-38.5)
対象 6歳未満のみ	1.15 (0.52-2.55)	0.52 (0.16-1.63)	3.35 (0.50-22.5)

*:調整オッズ比は、0.1 μ T 未満を参照カテゴリーとした場合の値を示す。

表7. 潜在的交絡因子を調整した場合の「寝室の磁界レベル」の小児白血病(ALL+AML)に対するリスク

- 症例・対照をマッチさせた解析 -

調整変数	調整オッズ比 (95%信頼区間)		
	「寝室の磁界レベル」のカテゴリー		
	0.1-0.2 μ T	0.2-0.4 μ T	0.4 μ T 以上
母教育レベル	0.94 (0.52-1.70)	1.09 (0.52-2.32)	2.63 (0.77-8.96)
母教育レベル + 電気機器使用(妊娠中:9種)*	0.99 (0.54-1.80)	0.97 (0.45-2.10)	2.96 (0.82-10.7)
母教育レベル + 喫煙+飲酒 (妊娠中)	0.88 (0.48-1.60)	1.02 (0.48-2.19)	2.50 (0.73-8.56)
母教育レベル + X線検査 (妊娠中)	0.95 (0.53-1.72)	1.09 (0.51-2.32)	2.65 (0.78-9.00)
母教育レベル + 環境放射線	1.04 (0.55-1.95)	0.97 (0.43-2.15)	2.67 (0.79-9.01)
母教育レベル + 子供のワクチン接種歴(10種)	0.98 (0.54-1.78)	1.07 (0.50-2.29)	2.91 (0.85-9.94)
母教育レベル + 電気機器使用(子供:8種)**	0.93 (0.50-1.72)	1.04 (0.48-2.26)	3.25 (0.92-11.5)

(注意)調整オッズ比は、0.1 μ T 未満を参照カテゴリーとした場合の値を示す。

*利用者が極端に少なかった「ウォーターベッド(ヒータ式)」を除く9種の電気機器利用の有無

**利用者が極端に少なかった「ウォーターベッド(ヒータ式)」を除く8種の電気機器利用の有無

3.2.小児脳腫瘍

対象者の基本的プロフィール(性別、年齢、母親の教育レベル(質問では、小学校と中学校を含めた就学年数で聞いており、12年以下を高卒未満、13年以上を短大・大学卒以上と定義した)、母親の妊娠中の喫煙歴、住居のタイプ(一戸建てあるいは集合住宅)、居住期間(%)、現住宅での居住年数)を症例対照間で比較した(表8)。母親の学歴が対照群でわずかに高い傾向を示したほかは、統計的に有意な差異を示すものはなかった。また、出生時の体重および妊娠期間(出産週)にも有意な差は見られなかった(添付資料参照)。

「寝室の磁界レベル」と他の指標との相関は高かった。1週間幾何平均磁界レベルでは $r=0.84(p<0.001)$ 、1週間昼間平均磁界レベルでは $r=0.83(p<0.001)$ 、1週間夜間平均磁界レベルでは $r=0.91(p<0.001)$ であった。

条件付きロジスティック回帰分析の結果は(表9)に示す通り、 $0.05\mu\text{T}$ 未満の磁界曝露群に比較し、 $0.4\mu\text{T}$ 以上の曝露群でリスクが有意に上昇する傾向が示された。また、 $0.05\mu\text{T}$ と $0.3\mu\text{T}$ で3群とした解析でも、 $0.05\mu\text{T}$ 未満の磁界曝露群に比較し $0.3\mu\text{T}$ 以上でリスクの有意な上昇傾向が見られた。すなわち、調整オッズ比は $0.05\text{--}0.3\mu\text{T}$ で 0.66 ($0.27\text{--}1.66$)、 $0.3\mu\text{T}$ 以上で 6.56 ($1.13\text{--}37.9$)であった。

「寝室の磁界レベル」が $0.3\mu\text{T}$ 以上であった5名の症例と1名の対照について、住居から最寄の高圧送電線までの距離を見ると、5名の症例と1名の対照のうち、3名の症例だけが住居から100m以内に高圧送電線があった(表10)。なお、居住地近隣の高圧送電線と脳腫瘍のリスクの上昇についての関連性は、住居から近傍の高圧送電線までの距離が100m以上の群を参照カテゴリーとすると、 $50\text{--}100\text{m}$ では 1.39 ($0.32\text{--}5.82$)、 50m 以内では 1.63 ($0.28\text{--}10.69$)であった。

小児白血病の項で述べたのと同様に、選択バイアスの可能性に関連して、調査依頼した対照者候補の参加の有無によって、居住地から高圧送電線までの距離に有意な差異は観察されなかった。なお、性別、住居形態あるいは地域による電力周波数区分(50Hz か 60Hz)による潜在的なリスクの修飾については、 $0.3\mu\text{T}$ 以上の対照者の数が少なかったために検討できなかった。

潜在的交絡因子が上記「寝室の磁界レベル」のリスクに影響しているかどうかについて、可能性のある交絡因子を条件付きロジスティック解析に共変数として投入して調べた。結果は(表11)に示すように、 $0.4\mu\text{T}$ 以上のオッズ比には大きな変化が見られなかった。

表8. 症例と対照の基本プロフィール

		小児脳腫瘍			
		症例		対照	
		n	%	n	%
		55	100.0	99	100.0
性	男	29	52.7	62	62.6
	女	26	47.3	37	37.4
診断時の年齢(才)					
	2 未満	5	9.1	9	9.1
	2-3	4	7.3	14	14.2
	4-5	6	10.9	5	5.1
	6-9	12	21.8	22	22.2
	10 以上	28	50.9	49	49.4
母親の教育レベル**					
	高校卒以上	27	49.1	30	30.3
	短大・大学卒以上	28	50.9	69	69.7
母親の妊娠時の履歴					
	喫煙				
	有り	6	10.9	11	11.1
	無し	49	89.1	88	88.9
住居のタイプ					
	一戸建て	12	21.8	17	17.2
	集合住宅	43	78.2	82	82.8
居住期間(%)					
	40 未満	12	21.8	21	21.2
	40-80	15	27.3	21	21.2
	80 以上	28	50.9	57	57.6
居住期間(月)					
	6 未満	7	12.7	12	12.1
	6-12	15	27.3	27	27.3
	12 以上	33	60.0	60	60.6

*欠損値があるので症例と対照の総数と合わない。

** カイ自乗検定で有意差があった。

表9 「寝室の磁界レベル」の脳腫瘍に対するリスク-症例と対照をマッチさせた解析-

小児脳腫瘍			
	症例	対照	調整オッズ比 * (95% 信頼区間)
	55	99	
「寝室の磁界レベル」 (μ T)			
0.05 未満	42	71	1.00
0.05-0.2	8	23	0.62 (0.23-1.64)
0.2-0.4	2	4	1.45 (0.23-9.01)
0.4 以上	3	1	10.6 (1.00-111)

*母教育レベルの指標として母親の教育レベルを調整した場合のオッズ比。

表 10: 「寝室の磁界レベル」が0.4 μ Tを示した対照と症例の個別プロフィール

	性別	診断時 年齢(才)	脳腫瘍のタ イプ	「寝室の 磁界レベ ル」(μ T)	住宅の タイプ*	屋外の最大 磁界レベル (μ T)*	近傍の送電 線からの距 離	商用周 波数	近傍の送電 線の電圧規 格 (KV)
対照	女	7.1	-	0.36	集合	0.37	100+ m	60 Hz	-
	男	6.8	-	1.76	集合	0.05	100+ m	50 Hz	-
症例	女	11.9	非神経膠腫	2.45	集合	3.94	70 m	50 Hz	220
	男	11.5	非神経膠腫	0.51	集合	0.10	43 m	50 Hz	275
	男	7.7	神経膠腫	0.41	集合	0.26	100+ m	50 Hz	-
	男	1.4	神経膠腫	0.33	集合	0.31	27 m	50 Hz	154
	男	0.5	神経膠腫	0.34	集合	0.34	100+ m	60 Hz	-

表11. 潜在的交絡因子を調整した場合の、「寝室の磁界レベル」の小児脳腫瘍に対するリスク

- 症例・対照をマッチさせた解析 -

調整変数	調整オッズ比 (95%信頼区間)		
	寝室の磁界レベルのカテゴリー		
	0.05-0.2 μ T	0.2-0.4 μ T	0.4 μ T以上
母教育レベル	0.62 (0.23-1.64)	1.45 (0.23-9.01)	10.6 (1.00-111)
母教育レベル + 電気機器使用(妊娠中:9種)*	0.23 (0.03-1.72)	2.08 (0.29-15.1)	13.5 (0.72-253)
母教育レベル + 喫煙+飲酒 (妊娠中)	0.71 (0.13-3.86)	1.67 (0.26-10.7)	10.4 (0.88-122)
母教育レベル + X線検査 (妊娠中)	0.52 (0.10-2.71)	1.77 (0.27-11.7)	10.8 (1.04-111)
母教育レベル + 環境放射線	0.63 (0.11-3.67)	1.51 (0.24-9.66)	9.36 (0.88-99.4)
母教育レベル + 子供のワクチン接種歴(10種)	0.43 (0.07-2.67)	2.52 (0.24-26.4)	16.9 (1.25-229)
母教育レベル + 電気機器使用(子供:8種)**	0.42 (0.05-3.78)	1.10 (0.13-9.13)	9.10 (0.69-120)

調整オッズ比は、0.1 μ T 未満を参照カテゴリーとした場合の値を示す。

*利用者が極端に少なかった「ウォーターベッド(ヒータ式)」を除く9種の電気機器利用の有無

**利用者が極端に少なかった「ウォーターベッド(ヒータ式)」を除く8種の電気機器利用の有無

なお、それぞれ投入した潜在的交絡因子については本文あるいは添付資料を参照されたい。

3.3. まとめ

本調査により得られた小児白血病と小児脳腫瘍の症例・対照データについてリスク解析を試みた。その結果、「寝室の磁界レベル」、すなわち子供の寝室の1週間の平均磁界レベルを磁界曝露指標とした場合、磁界曝露の特徴や、その小児白血病と小児脳腫瘍に対するリスクについて、以下のような点が示された。

- 1) 対照群において「寝室の磁界レベル(1週間平均値)」が0.4 μ Tを超える割合は約1%であり、これまでの同様な疫学調査で1~3%程度とされている諸外国に比較して少ない傾向であった。ただし、この数値はキャッチメントエリア内の対照者に限定された、また、症例の年齢分布を反映した値であるので、全国人口の平均的な値ではない。
- 2) 「寝室の磁界レベル(1週間平均値)」の小児白血病(ALL+AML)に対するリスクは0.4 μ T付近までは上昇傾向はみられず、0.4 μ T以上のみで上昇する傾向を示し、調整オッズ比は2.6 (95%信頼区間:0.77-8.96)であった。この傾向および0.4 μ T以上の調整オッズ比の大きさは、Ahlbom (2000)⁶⁾が行ったこれまでの小児白血病の疫学調査結果のプール分析結果(0.4 μ T以上の調整オッズ比は2.00)とよく一致していた。なお、小児白血病をALLとAMLの小児白血病を分けて同様な解析を行うと、ALLのみが0.4 μ T以上でより大きなリスク上昇を示し、調整オッズ比は4.7 (95%信頼区間:1.14-19.7)で有意であった。
- 3) 高圧送電線の距離が50m以内の小児白血病に対するリスクは、100m以上を基準とした場合に有意な上昇を示した。ただし、「寝室の磁界レベル」が0.4 μ T以上の症例および対照について近傍の高圧送電線からの距離をみると、100m以上のものが含まれていた。
- 4) 小児脳腫瘍についても、小児白血病の場合と同様、「寝室の磁界レベル」が0.3 μ T以上あるいは0.4 μ T以上でリスクが上昇する傾向が見られた。なお、症例数が白血病よりかなり少なく、誤差変動が白血病よりも大きい可能性がある。
- 5) 小児白血病および小児脳腫瘍について示されたリスクに対する潜在的な交絡因子やバイアスの影響について種々の検討を加えたが、いずれもそれらのリスクを大きく変化させるものは見られなかった。ただし、観察された

「寝室の磁界レベル」が高かった対象者は少なく、ここで検討できなかったその他の要因によるバイアスの可能性は否定できないと思われる。

以上、これまでの諸外国の疫学調査と比較して方法論的に改良された本調査により、とくに小児白血病については、さらにプール分析などを通して国際的なリスク評価に貢献できるデータが得られたと思われる。この種の調査は方法論的にすでに限界に近いと言われており、再調査は相当困難となっている。生活環境中磁界についての今後の国内における諸研究にも広く役立てて頂くことを期待しつつ本研究報告を終えることにする。

■ 4. 謝辞

本調査研究は、ひとえに、ご参加頂いた症例および対照のご家族、症例の担当医の方々、全国の関連病院および小児がん研究グループ、さらに関連学会など多くのご協力ご支援のもとに実現できたものである。また、高久史磨委員長はじめ総合研究推進委員会のメンバーの先生方、諸外国の関連研究者、とくに米国 NCI の Linet 博士、Kalorinska 研究所の Ahlbom 博士、WHO の Kheifets 博士に研究推進への支援や相談などご協力を頂いた。記して御礼申し上げる。

■ 5. 参考文献リスト

1. Wertheimer N., Leeper E. Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am J Epidemiol* 1979; 109: 273-284.
2. WHO, WHO International EMF project: <http://www.who.int/peh-emf/>.
3. Repacholi, M., Ahlbom A. Link between electromagnetic fields and childhood cancer unresolved (12/4/99). *Lancet* 1999; 354: 9194.
4. NIEHS, Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields, 1999, NIH Publication No. 99-4493
5. IARC, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol.80, "Non-ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely low-frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields", IARC Press, Lyon, 2002.
6. Ahlbom A., Day N., Feychting M., Roman E., Skinner J., Dockerty J., Linet M., McBride M., Michaelis J., Olsen J.H., Tynes T., Verkassio P.K.. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukemia. *Brit J Cancer* 2000; 83(5): 692-98.
7. Greenland S., Sheppard A.R., Kaune, W.T., Poole C., Kelsh M.A. A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. *Epidemiology* 2000; 11: 624-634.
8. Kheifets LI, Sussman SS, Preston-Martin S. Childhood brain tumors and residential electromagnetic fields (EMF). *Rev Environ Contam Toxicol* 1999; 159: 111-129.
9. Friedman D.R., Hatch E.E., Tarone R., Kaune W.T., Kleinman R.A., Wacholder S., Boice J.D., Linet M.S. Childhood exposure to magnetic fields: Residential area measurements compared to personal dosimetry. *Epidemiology* 1996; 7: 151-55.
10. Kabuto M., Nitta H. (eds.), Health risk assessment of exposure to extremely-low-frequency electromagnetic fields. NIES SR report (SR-35-2001) 2001 (in Japanese).
11. Tokonami et al. Instrument Performance of a Radon Measuring System with the Alpha-Track Detection Technique, *Radiation Protection Dosimetry* 2003; 103: 69-72.
12. Greenland S. Analysis of Polytomous Exposures and Outcomes in: Rothman KJ and Greenland S eds., *Modern Epidemiology* Second edition, Philadelphia, Lippincott Williams and Wilkins, 1998.