

商用周波磁界ばく露と小児白血病発症の

新たなプール分析 その2

電磁界情報センター 所長 大久保 千代次

はじめに

2021年9月に米国UCLAのKheifetsのグループが、電力施設から発生する50ヘルツや60ヘルツの商用周波磁界ばく露と小児白血病との関連性に関する疫学研究、Pooled analysis of recent studies of magnetic fields and childhood leukemia (磁界と小児白血病について最近の研究のプール分析) という大変興味深い論文 (Amoon et al., 2021) ¹⁾ を発表しました。Kheifetsは、この分野では大変有名な疫学研究者で、数多くの小児白血病と磁界についての論文を発表しています。前号では、Kheifets等が2010年に発表したプール分析 (Kheifets et al., 2010) ²⁾ を中心に、改めてこれまで発表されたプール分析を含めた疫学論文とそれへの国際機関の評価の概要を振り返りました。ここでは、2021年に発表した新たな研究プール分析 (Amoon et al., 2021) ¹⁾ の結果を紹介します。

なお、小児白血病、疫学研究、プール分析、症例対照研究、メタ分析、オッズ比、95%信頼区間、選択バイアス、交絡因子、カットオフポイントなど、余り馴染みのない言葉が出て来ますが、前号(商用周波磁界ばく露と小児白血病発症の新たなプール分析 その1)の、囲み記事として説明しましたので、そちらをご覧ください。

前号の概要

電力施設や家電製品から発生する商用周波磁界ばく露と小児白血病との関係は、1979年に、コロラド州立大学のWertheimerとLeeper (Wertheimer and Leeper, 1979) ³⁾ が発表した研究報告が発端となりました。大きな電流が流れる施設(磁界が大きい施設)の近くに住む子供の小児白血病死亡者がそうでない環境に住んでいる子供よりも約3倍高いという内容です。この際、磁界の大きさ(ばく露量)を推定する指標には、子供の住居近傍での電気の配線の種類と、その配線から住居までの距離に基づいてばく露を分類する「ワイヤコード」という指標を用いました。その後1988年にはノースカロライナ州立大学の公衆衛生学のSavitz等 (Savitz et al., 1988) ⁴⁾ が、同じデンバー地区に住む人を対象に同様な調査を行いました。その結果、配電線の近くに住んでいた子供の小児がんの発症率は、そうでない子供と比べて1.5～2倍高いという内容から、偶然このような現象が起きたのではなく、再現性のある現象と理解され、米国のみならず全世界で電磁界問題は大きな社会的関心事となりました。

米国政府は、1992年に「EMFラピッド計画」という研究プロジェクトを発足させて、1999年の最終報告書⁵⁾が提出され、まとめ役の国立環境保健科

学研究(NIEHS)所長は「電磁界が完全に安全とは認められないが、真に健康に危険であるという確率は小さい。」と述べています。

WertheimerとLeeperの研究³⁾以後、磁界ばく露量の代替指標であるワイヤコードには相当の誤分類が含まれることから、磁界ばく露と小児白血病との関連性の研究にはワイヤコードよりも、距離、電力線の負荷データ、および磁界計算値をばく露量として用いたり、直接現地での磁界を測定(スポット測定)や現地で長期間磁界測定した値をばく露の指標として用いられています。磁界ばく露と小児白血病との関連性を追究するために、その後数多くの包括的な分析が行われていますが、最も優れた分析手法としてプール分析があります。プール分析は過去に発表された複数の研究から個々の生のデータ(ローデータ)を用いて改めて分析します。分析対象となる全ての研究に対して新たな解析手法を見出す最適な手法で、新たに異なる指標や研究にまたがる比較が可能で、統計的により安定した結果を導くことが可能です。且つ分析方法の違いによるアーティファクト(人為的な不適切な統計処理の結果現れた影響)も除外されますので、その結果は信頼性が高く、国際的にもプール分析の結果はこの分野では重要視されています。

最初にプール分析が発表されたのは2000年です。Greenland等(Greenland et al., 2000)⁶⁾とAhlbom等(Ahlbom et al., 2000)⁷⁾の2つのプール分析が大変注目されました。

Greenland等⁶⁾は、1999年までに発表されたプール分析に含める資格の有る12件の症例対照研究の生データ(合計で症例2,656人および対照7,084人)をプールして解析した結果、0.1マイクロテスラ(μT :磁界の強さである磁束密度の単位)未満のばく露(参照カテゴリ)と比較して0.3 μT 超での年齢、性別および研究手法について調整した複合推定オッズ比(相対危険度に相当)が1.68で、95%信頼区間は1.23~2.31でした。95%信頼区間の下限値が1を跨らないので統計的に意味のある増加を意味します。

Ahlbom等⁷⁾は、同じく1999年までの研究の中で、より厳格な包含クライテリアを用いて、少なくとも丸一日の磁界測定値、あるいは磁界計算値のある人口集団ベースの研究に焦点を絞り、過去の優れた9件の症例対照研究を用いてプール分析(合計で症例3,203人および対照10,388人)した結果、商用周波磁界へのばく露が0.1 μT 未満の参照カテゴリの居住者に比較して、0.40 μT 以上のばく露カテゴリでの年齢、性別、社会経済的状態(SES)などについて調整した複合推定オッズ比が2.00で、その95%信頼区間は1.27-3.13でした。95%信頼区間の下限値が1を跨らないので統計的意味のある増加と見なされました。

2002年に世界保健機関(WHO)の専門機関IARC(国際がん研究機関)が行った商用周波磁界の発がんハザード評価(IARCモノグラフNo.80)⁸⁾では、小児白血病に関する疫学研究の限定的な証拠があるものの動物研究では不十分な証拠しか得られなかったことから、磁界の発がんハザードを2B(発がん性があるかもしれない)と判断しました。

WHOは1996年に国際電磁界プロジェクトを発足させました。このプロジェクトは現在も継続しています。その主目的は静電磁界、(超)低周波電磁界(ELF-EMF)、中間周波電磁界(IF-EMF)、高周波電磁界(RF-EMF)の健康リスク評価を行うことです。2007年に商用周波磁界を含む100kHzまでの低周波電磁界(ELF)の健康リスク評価結果を環境保健クライテリアNo.238モノグラフ⁹⁾として発刊しています。その中でもELF磁界と小児白血病との関連性について多くのページを割いています。なお、2002年のIARC評価以降、WHOのリスク評価までに、英国のDraper等(Draper et al., 2005)¹⁰⁾と日本の国立環境研究所の故兜眞徳先生の疫学研究(Kabuto et al., 2006)¹¹⁾の2つの疫学研究が発表されました。

2007年6月に出版された環境保健クライテリアNo.238モノグラフ⁹⁾で、小児白血病とELF磁界との関連性については「IARCの分類は、小児白血病に関する疫学調査で観察された関連性によって大きく

影響された。この証拠(限定的という分類)は、2002年以降に公表された小児白血病に関する2件の研究を追加しても変更されなかった。IARCモノグラフの公表以来、他の小児がんにする証拠は依然として不十分である。」と記載されています。環境保健クライテリアNo.238と同時に発表されたWHOファクトシートNo.322¹²⁾では、「疫学的証拠は、選択バイアスの可能性など手法上の問題によって弱いものになります。加えて、低レベルのばく露ががん発生に関与することを示唆するような生物物理学的メカニズムとして正当と認められたものはありません。(中略)したがって、これら全てを考慮すれば、(ELF磁界ばく露と)小児白血病に関連する証拠は因果関係と見なせるほど強いものではありません。」と述べています。

2010年にはKheifets等が新たなプール分析結果を発表しました(Kheifets et al., 2010)²⁾。論文は、2000年以降公表された居住環境の磁界と小児白血病に関する7つの研究の一次データ(全体で症例10,865人および対照12,853人)に基づいて解析しています。結論は、「磁界は発がん性があるかも

知れないという評価を変更させるものではない。」という見解ですが、全般的には、最近行われた研究の多くで磁界と小児白血病との関連性は弱くなっているが、これらの研究は規模が小さく、見かけ上の関連を取り除くために必要な方法論的改善がなされていないと述べています。

2021年のプール分析 (Amoon et al., 2021)¹⁾

Amoon等¹⁾は、2010年のKheifets等²⁾のプール分析以降に発表された居住環境磁界ばく露と小児白血病に関連する症例対照研究をPubMedなどの研究データベースから9件¹³⁻²¹⁾抽出し、その中で、子供および小児白血病について個別のデータが有り、人口集団ベースで、住居内での磁界測定値または計算値を提示するものという条件を持つ4件の研究が採用されました。以下に採用された4件¹³⁻¹⁶⁾と不採用となった5件¹⁷⁻²¹⁾の研究リストを表1に示します。不採用となった理由は、表1の右下欄に記載してありますが、詳細は原文(Amoon et al., 2021¹⁾)を

表1 Amoon et al.,2021における採用・不採用の研究リスト
(2010年以降に発表された磁界ばく露と小児白血病の症例対照研究)

	著者	実施国	症例数	対照数	診断年	年齢	最高磁界カテゴリー	オッズ比	95%信頼区間	不採用の理由	参考文献番号
採用	Kheifets (2017)	米国	5788	5788	1988-2008	0-16歳未満	≥0.4μT	1.52	0.71-3.25	—	13
採用	Pedersen (2015)	デンマーク	1536	3072	1968-2003	0-16歳未満	≥0.4μT	1.67	0.51-5.46	—	14
採用	Salvan (2015)	イタリア	601	893	1998-2001	0-10歳	>0.2	9.88	0.38-2.00	—	15
採用	Bunch (2016)	英国	16604	20976	1962-2010	0-16歳未満	≥0.4μT	0.5	0.25-1.62	—	16
不採用	Auger (2019)	カナダ	248	—	2006-2016	0-12歳未満		1.3	0.99-1.70	距離のみ	17
不採用	Jirik (2012)	チェコスロバキア	82	81		0-15歳未満	>0.4μT	0.9	0.32-2.22	病院対照を使用	18
不採用	Tbrizi (2015)	イラン	22	100	2013-2014	0-12歳未満		3.65	1.69-7.87	病院対照を使用・ばく露データ無	19
不採用	Sohrabi (2010)	イラン	300	300		0-18歳		2.61	1.76-3.94	病院対照を使用	20
不採用	Nunez-Enriquez (2020)	メキシコ	290	407	2010-2011	0-16歳未満	≥0.4μT	1.87	1.04-3.35	病院対照を使用	21

参考文献番号はP12を参照

ご覧ください。なお、著者らはフランスの大規模研究Sermage-Faure et al., 2013²²⁾の結果を含めることを計画していましたが、このプール分析作業時点でそのデータは入手できなかったと報告しています¹⁾。

プールしたデータには、小児白血病の症例24,994人、対照30,769人が含まれていましたが、研究で定義した住居の正確なジオコード(地理座標で表したコード)化のある参加者に限定したところ、症例22,128人および対照27,587人となっています。分析では、磁界に関連した小児白血病のリスク推定では、全ての白血病症例および対照の出生時および診断時の正確なジオコード化を有する参加者に限定して、以下に述べる様な統計的処理を行っていますが、専門的内容が多いので場合によっては表2の結果だけをご覧ください。解析は、可能な限り多くの症例と対照を用いて、分析の柔軟性を高めるため、マッチングを無視し、代わりに年齢、性別および研究手法について調整した無条件ロジスティック回帰^{A)}分析を用いています。比較のため、複数の方法で分析を反復しています。具体的には①診断時年齢、性別、および研究手法のみについて調整、②年齢、

性別、研究手法、およびSESについて調整、③研究手法について調整した条件付きロジスティック回帰、④研究手法およびSESについて調整した条件付きロジスティック回帰の各モデルを用いて、磁界カテゴリと小児白血病とのオッズ比を求めました。表2と図1にその結果を示します。全ての分析モデルの結果は一貫しており、参照カテゴリの0.1 μ T未満に比べて、最も高いばく露レベル(0.4 μ T以上)でオッズ比は0.95 ~ 1.08、その95%信頼区間の下限値も1を下回っているため統計的に小児白血病の発症の増加は確認されませんでした。

Amoon等はより詳細な解析もしています。小児白血病はいろいろな種類の白血病があるのですが、その内、主な急性リンパ芽球性白血病(ALL)について着目してALLの症例および対照のみの小集団；出生時の住居に着目した小集団；磁界計算値にのみ着目した小集団について磁界ばく露カテゴリと小児白血病発症についてその関連性を調べました。図2には、ALL、出生時の住居、磁界計算値のみについて解析した結果を図示しました。ALL、出生時の住居、磁界計算値の各小集団のいずれにおいても、参照カテゴリの0.1 μ T未満に比べて、最も高い磁界ばく露

表2 小児白血病の磁界のカテゴリ別のオッズ比と使用したモデル

使用した統計学的モデル	磁界(μ T)	症例数	対照数	オッズ比	95%信頼区間
①無条件ロジスティック回帰 (年齢、性別、研究手法を調整)	<0.1	21841	27101	1	
	0.1-<0.4	98	127	0.99	0.76-1.30
	\geq 0.4	26	34	0.95	0.57-1.60
②無条件ロジスティック回帰 (年齢、性別、研究手法、SESを調整)	<0.1	21711	26974	1	
	0.1-<0.4	98	126	1	0.77-1.31
	\geq 0.4	26	34	0.95	0.57-1.60
③条件付きロジスティック回帰 (研究手法を調整)	<0.1	24310	30412	1	
	0.1-<0.4	91	116	1.01	0.76-1.34
	\geq 0.4	28	33	1.08	0.65-1.80
④条件付きロジスティック回帰 (研究手法、SESを調整)	<0.1	24023	30075	1	
	0.1-<0.4	89	113	1.02	0.76-1.36
	\geq 0.4	28	33	1.07	0.64-1.78

A) ロジスティック回帰分析

ある一つの変数(独立変数)とある別の変数(従属変数)との関連を明らかにするための統計的手法を回帰分析といいます。ロジスティック回帰分析では、あるリスク要因によりある疾患が発症するリスクを推定するために、オッズ比(相対危険度に相当)を計算します。その際にカテゴリに含まれる症例の数に一致するように対照群の被験者を選出する無条件ロジスティック回帰と変数をマッチングさせて(例:同じ誕生日)、各症例に対し個別的に対照を選択する条件付きロジスティック回帰といった手法があります。

カテゴリ(0.4 μ T以上)での小児白血病のリスク上昇は認められませんでした。

Amoon等は、対照の出生期間(1953-1983年、

1984-1994年、1995-2010年)に着目して磁界ばく露と小児白血病発症に関する関係も調べています。その結果を図3に示します。3つの出生年代別

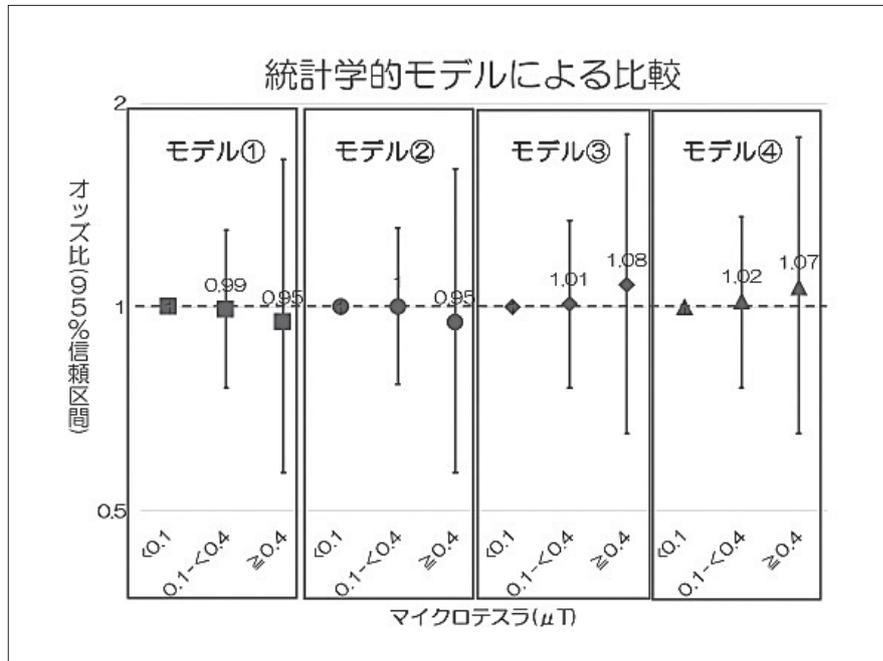


図1 各統計学的モデル磁界カテゴリと小児白血病とのオッズ比とその95%信頼区間

モデル①は年齢と性別、および研究手法のみを調整した無条件ロジスティック回帰、②は年齢、性別、研究手法、およびSESについて調整した無条件ロジスティック回帰、③は研究手法について調整した条件付きロジスティック回帰、④は研究手法およびSESについて調整した条件付きロジスティック回帰

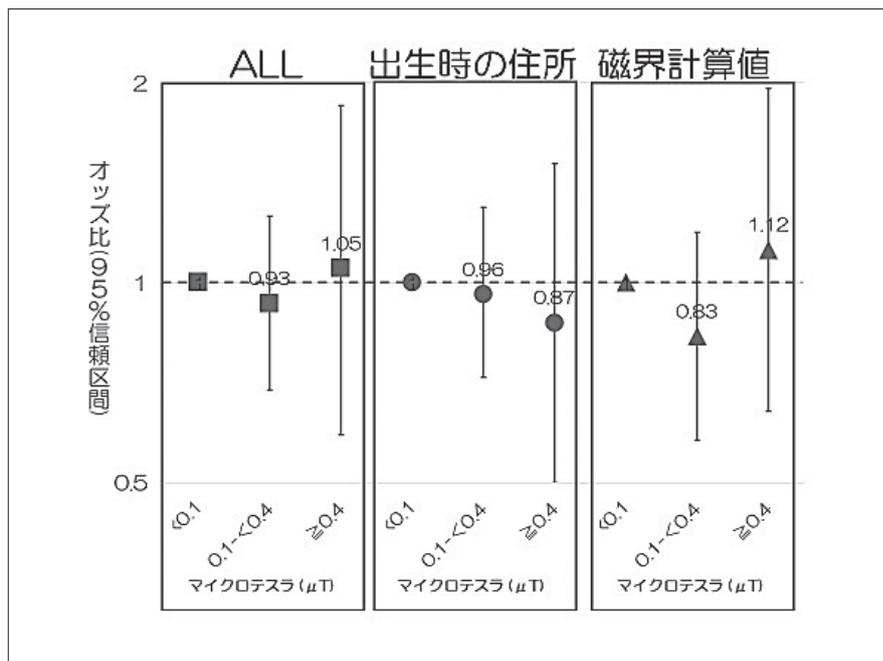


図2 ALLのみ、出生時の住所のみ、磁界計算値のみに着目した場合の、磁界カテゴリと小児白血病発症とのオッズ比とその95%信頼区間

の小集団で見ると、参照カテゴリの0.1 μ T未満に比べて、最も高い磁界ばく露カテゴリ(0.4 μ T以上)での、1953年～1983年、1984～1994年、1995年～2010年のオッズ比が1.54、1.2、0.71と年代と共に低下傾向がありますが、95%信頼区間が大きく、統計的に有意な変化とは認められませんでした。

Amoon等はさらに、小児の年齢を5歳未満、5歳-10歳未満、10歳以上で階層化して検討しています。なお、10歳以上のグループには症例が1人、対照が4人だったので、検討が除外されました。5歳未満、5歳-10歳未満の年齢層での結果を図4に示します。小児の年齢層別小集団分析でも、参照カテゴリの0.1 μ T未満に比べて、最も高い磁界ばく露カテゴリ(0.4 μ T以上)での小児白血病のリスク上昇は認められませんでした。

大半の先行分析では、磁界ばく露レベルが0.1 μ T未満を参照カテゴリとして0.4 μ T以上のカテゴリと比較して検討していますし、Amoon等も0.1 μ T未満、0.1 μ T以上0.4 μ T未満、0.4 μ T以上の3つのカテゴリに分類して検討していますが、更には、ばく露レベルを小刻みな窓として動かしてオッズ比を

計算しています。この分析では、0.1 μ T未満の比較対照カテゴリに対し、0.05 μ T刻みばく露カテゴリ(即ち、0.1 μ T以上、0.15 μ T以上、0.2 μ T以上、…、0.75 μ T以上)を用いて、年齢、性別、SES、および研究手法について調整して計算しました。図5にその結果を示します。従来のプール分析では0.3 μ T超あるいは0.4 μ T以上を最も高いカテゴリとして比較していますが、今回の分析では、小刻みに0.05 μ Tの窓でばく露レベルを評価すると、より高いリスクカテゴリでオッズ比は僅かに上昇し、0.65 μ T以上で1.45に達しましたが、同時に不確実性が大きくなりました。また、全ての窓で95%信頼区間の下限値は一貫して1を下回り、統計的な差は見られません。特に、0.75 μ T以上という高いばく露カテゴリでさえ、リスクはこれまでに発表されたプール分析のオッズ比よりも小さく、結果は単一の累進的にばく露が増えれば小児白血病が増加するといった量・反応関係とは整合しないことを示しています。

Amoon等は、最後に、今回のプール分析で得られた結果と過去のプール分析(Ahlbom他、2000⁷⁾；Kheifets他、2010²⁾)の結果を比較すると共に、

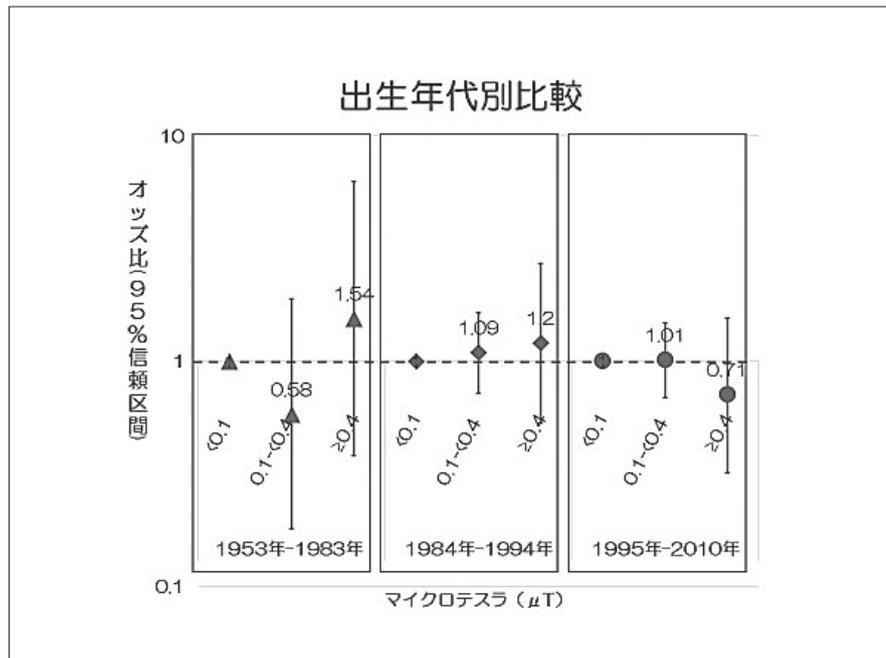


図3 対照群の出生期間(1953-1983年、1984-1994年、1995-2010年)ごとの磁界ばく露カテゴリと小児白血病発症とのオッズ比とその95%信頼区間

3つの全てのプール分析を統合して比較しました。測定した磁界値を用いた研究、計算から求めた磁界値を用いた研究、全ての研究の3種類でそれぞれのプール分析結果を比較しています。その結果を図6～

図8に示します。なお、Amoon等は、過去のプール分析手法に準じて解析しています。2000年に発表されたAhlbom等の報告は2000年までに発表された研究を、2010年に発表されたKheifets等の報

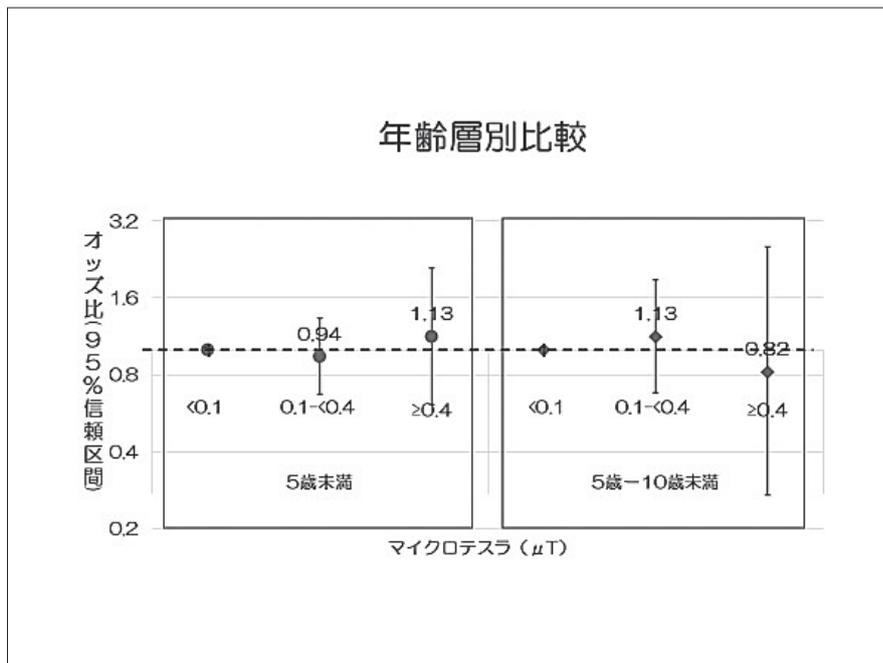


図4 児の年齢層別に見た磁界ばく露カテゴリと小児白血病発症のオッズ比とその95%信頼区間

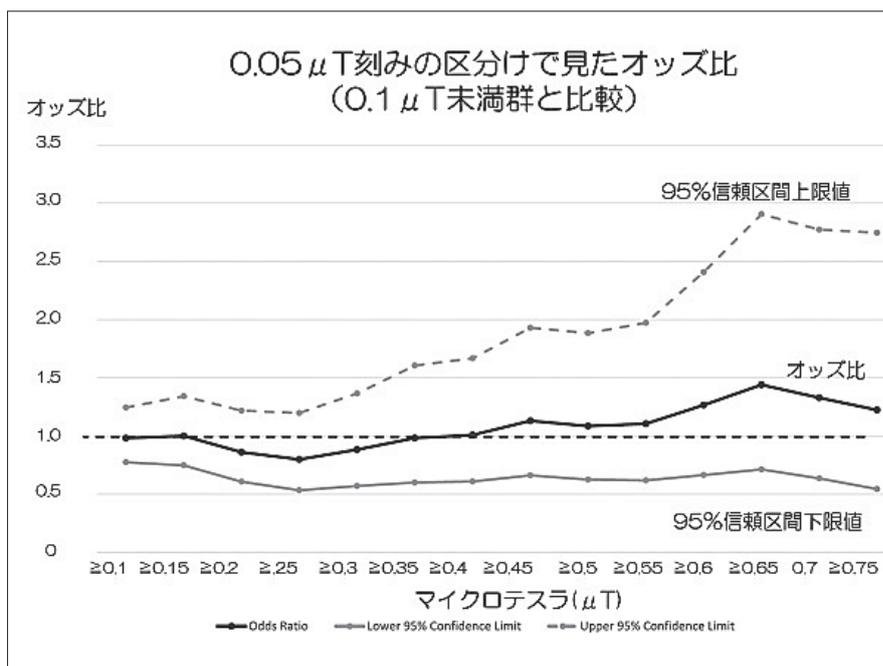


図5 0.1 μT未滿を参照カテゴリにして0.05 μT刻みの窓で見たオッズ比(年齢、性別、SES、研究手法について調整した無条件オッズ比)と95%信頼区間の上限値と下限値

告は2000-2010年に発表された研究を、今回の分析は2010-2020年に発表された研究をプールして解析しています。結果を比較すると、これらの連続するプール分析において見かけ上小児白血病発症のリスクの低下が見られます。論文ではこのリスクの

低下について原因を考察していますが、明確な答えは得られていません。さらには、Ahlbom等が用いた1990年代の研究論文から2020年までの論文を全て統合しても、 $0.4\mu\text{T}$ 以上ばく露カテゴリで $0.1\mu\text{T}$ 未満に比べてオッズ比が1.45ですが、95%信

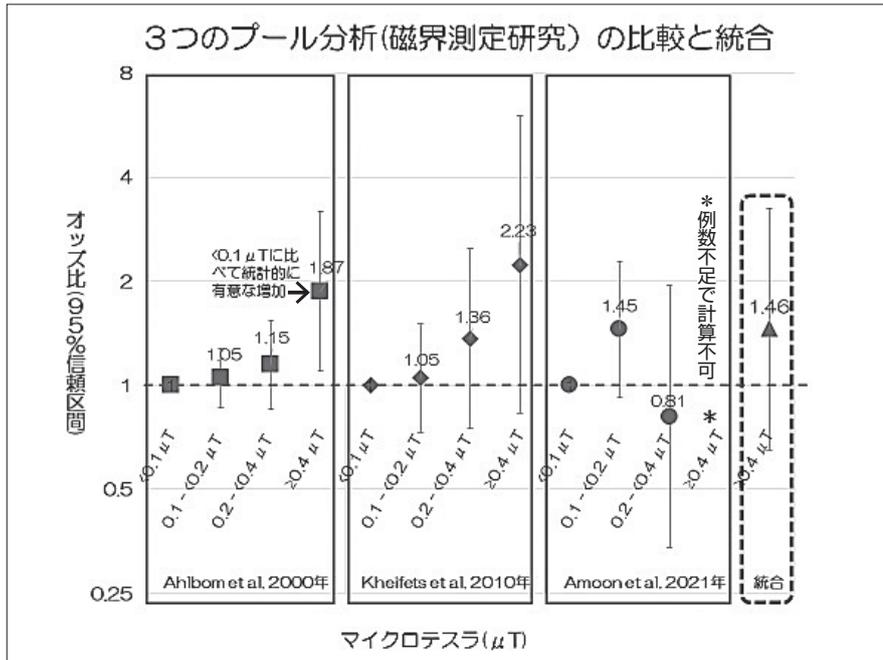


図6 3つのプール分析の中で磁界計測値を用いた論文をプール分析した際の結果とそれらを統合した場合 ($0.4\mu\text{T}$ 以上のみ) のオッズ比とその95%信頼区間 (参照カテゴリは $0.1\mu\text{T}$ 未満)

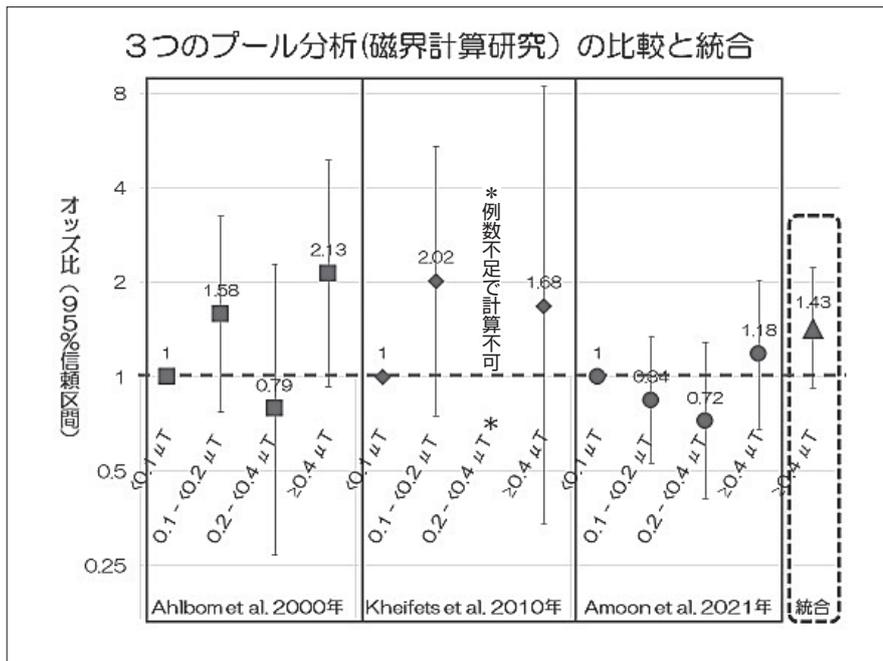


図7 3つのプール分析の中で磁界計算値を用いた論文をプール分析した際の結果とそれらを統合した場合 ($0.4\mu\text{T}$ 以上のみ) のオッズ比とその95%信頼区間 (参照カテゴリは $0.1\mu\text{T}$ 未満)

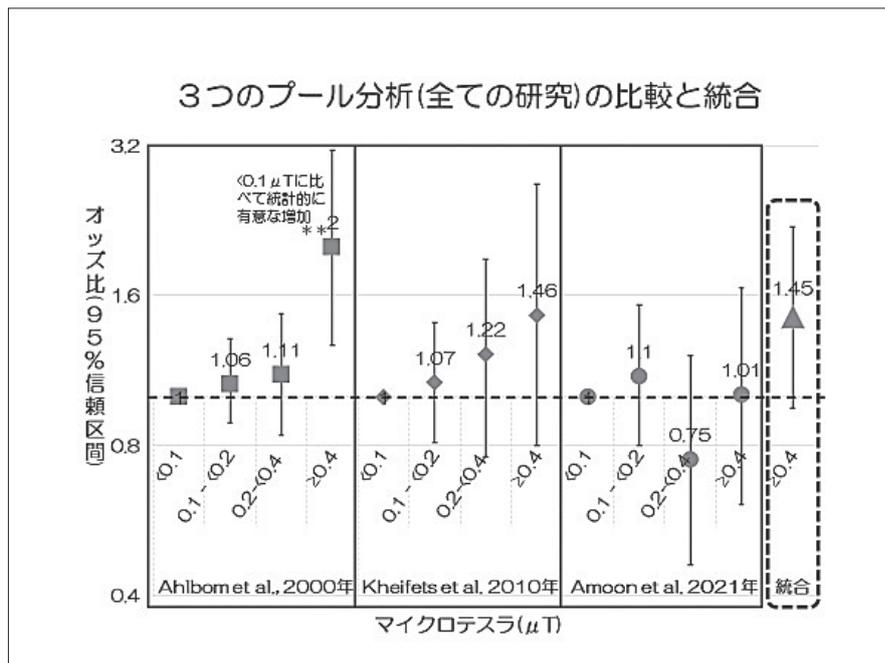


図8 全ての研究と小児白血病のリスク推定値に関する3つのプール分析の結果とそれらプール分析を統合した場合(0.4 μ T以上のみ)のオッズ比とその95%信頼区間(参照カテゴリーは0.1 μ T未満)

頼区間の下限値が1を下回っているため、統計的に有意なリスクは観察されませんでした。

Amoon等は、結論として、「我々の結果は、先行プール分析で観察されたリスク上昇を示しておらず、また、時間経過に伴い、磁界と小児白血病との関連がない側に影響が低下していることを示している。これは、手法上の問題、無作為の偶然、または影響がないという真の知見によるものである可能性がある。この知見の公衆衛生上の意味合いは、当然ながら非常に困難で、これは(本質的にリスク上昇の証拠はないという)最新の証拠が真のリスクの最良推定であるとするか、あるいは、全期間を通じて集約された証拠(僅かなリスク上昇がある)が真のリスクの最良推定であるとするかに依存する。」と述べています。

個人的な見解ですが、電力設備から発生する50ヘルツや60ヘルツの磁界ばく露が原因で小児白血病が発症するという仮説を裏付ける疫学的な証拠は徐々に乏しくなっていると思います。

参考文献

1. Amoon, A.T., Swanson, J., Magnani, C., Johansen, C., Kheifets, L., 2021. Pooled analysis of recent studies of magnetic fields and childhood leukemia. *Environ. Res.* 204 (Pt A): 111993. doi: 10.1016/j.envres.2021.111993, PMID: 34481821.
2. Kheifets, L., Ahlbom, A., Crespi, C.M., Draper, G., Hagihara, J., Lowenthal, R.M., Wunsch Filho, V., 2010. Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukaemia. *Br. J. Canc.* 103 (7), 1128-1135. doi: 10.1038/sj.bjc.6605838, PMID: 20877339.
3. Wertheimer, N., Leeper, E., 1979. Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am J Epidemiol* 109 (3), 273-284, doi: 10.1093/oxfordjournals.aje.a112681, PMID: 453167.
4. Savitz, D.A., Wachtel, H., Barnes, F.A., John, E.M., Tvrdik, J.G., 1988. Case-control study of childhood cancer and exposure to 60-Hz magnetic fields. *Am J Epidemiol* 128 (1), 21-38. doi: 10.1093/oxfordjournals.aje.a114943, PMID: 3164167.
5. Report on health effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic fields, NIH Publication No 99-4493, NIEHS (1999) https://www.niehs.nih.gov/health/assets/docs_p_z/report_powerline_electric_mg_predates_508.pdf.

- 6.Greenland, S., Sheppard, A.R., Kaune, W.T., Poole, C., Kelsh, M.A., 2000. A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. *Childhood Leukemia-EMF Study Group. Epidemiology* 11 (6), 624-634. doi: 10.1097/00001648-200011000-00003. PMID: 11055621.
- 7.Ahlbom, A., Day, N., Feychting, M., Roman, E., Skinner, J., Dockerty, J., Verkasalo, P.K., 2000. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *Br. J. Canc.* 83 (5), 692-698. doi: 10.1054/bjoc.2000.1376. PMID: 10944614.
- 8.IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Non-ionizing radiation, Part 1: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. Lyon, IARC, 2002 (Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 80).
- 9.WHO - World Health Organization. Extremely low frequency (ELF) fields. *Environmental Health Criteria*, Vol. 238. Geneva, World Health Organization, 2007, https://www.who.int/peh-emf/publications/Comple DEC_2007.pdf (和訳https://www.env.go.jp/chemi/electric/material/ehc238_j.pdf).
- 10.Draper, G., Vincent, T., Kroll, M.E., Swanson, J., 2005, Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a case-control study. *BMJ*. Jun 4;330 (7503): 1290-1292, doi: 10.1136/bmj.330.7503.1290, PMID: 15933351.
- 11.Kabuto, M., 他17名, 2006, 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 (3): 643-650. doi: 10.1002/ijc.21374, PMID: 16496405.
- 12.WHO Fact Sheet No. 322, Electromagnetic fields and public health, Exposure to extremely low frequency fields. https://www.jeic-emf.jp/assets/files/Fact%20Sheets/fact_sheet_322.pdf (和訳: ファクトシート 322 (2007年6月) 電磁界と公衆衛生「超低周波電磁界へのばく露」https://www.jeic-emf.jp/assets/files/pdf/faq/Factsheet_No322.pdf).
- 13.Kheifets, L., Crespi, C.M., Hooper, C., Cockburn, M., Amoon, A.T., Vergara, X.P., 2017. Residential magnetic fields exposure and childhood leukemia: a population-based case-control study in California. *Cancer Causes Control*. <https://doi.org/10.1007/s10552-017-0951-6>.
- 14.Pedersen, C., Johansen, C., Schuz, J., Olsen, J.H., Raaschou-Nielsen, O., 2015. Residential exposure to extremely low-frequency magnetic fields and risk of childhood leukaemia, CNS tumour and lymphoma in Denmark. *Br. J. Canc.* 113 (9), 1370-1374. <https://doi.org/10.1038/bjc.2015.365>.
- 15.Salvan, A., Ranucci, A., Lagorio, S., Magnani, C., Group, S.R., 2015. Childhood leukemia and 50 Hz magnetic fields: findings from the Italian SETIL case-control study. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 12 (2), 2184-2204. <https://doi.org/10.3390/ijerph120202184>.
- 16.Bunch, K.J., Swanson, J., Vincent, T.J., Murphy, M.F., 2016. Epidemiological study of power lines and childhood cancer in the UK: further analyses. *J. Radiol. Prot.* 36 (3), 437-455. <https://doi.org/10.1088/0952-4746/36/3/437>.
- 17.Auger, N., Bilodeau-Bertrand, M., Marcoux, S., Kosatsky, T., 2019. Residential exposure to electromagnetic fields during pregnancy and risk of child cancer: a longitudinal cohort study. *Environ. Res.* 176, 108524. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108524>.
- 18.Jirik, V., Pekarek, L., Janout, V., Tomaskova, H., 2012. Association between childhood leukaemia and exposure to power-frequency magnetic fields in Middle Europe. *Biomed. Environ. Sci.* 25 (5), 597-601. <https://doi.org/10.3967/0895-3988.2012.05.015>.
- 19.Tabrizi, M.M., Bidgoli, S.A., 2015. Increased risk of childhood acute lymphoblastic leukemia (ALL) by prenatal and postnatal exposure to high voltage power lines: a case control study in Isfahan, Iran. *Asian Pac. J. Cancer Prev. APJCP* 16 (6), 2347-2350. <https://doi.org/10.7314/apjcp.2015.16.6.2347>.
- 20.Sohrabi, M.R., Tarjoman, T., Abadi, A., Yavari, P., 2010. Living near overhead high voltage transmission power lines as a risk factor for childhood acute lymphoblastic leukemia: a case-control study. *Asian Pac. J. Cancer Prev. APJCP* 11 (2), 423-427.
- 21.Nunez-Enriquez, J.C., Correa-Correa, V., Flores-Lujano, J., Perez-Saldivar, M.L., Jimenez-Hernandez, E., Martin-Trejo, J.A., Mejia-Arangure, J.M., 2020. Extremely low frequency magnetic fields and the risk of childhood B-lineage acute lymphoblastic leukemia in a city with high incidence of leukemia and elevated exposure to ELF magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 41 (8), 581-597. <https://doi.org/10.1002/bem.22295>.
- 22.Sermage-Faure, C., Demoury, C., Rudant, J., Goujon-Bellec, S., Guyot-Goubin, A., Deschamps, F., Clavel, J., 2013. Childhood leukaemia close to high-voltage power lines-the Geocap study, 2002-2007. *Br. J. Canc.* 108 (9), 1899-1906. <https://doi.org/10.1038/bjc.2013.128>.