

環境省調査業務報告書

平成14年度 生活環境中電磁界と健康リスク評価に係る調査
報告書

平成15年3月31日
独立行政法人国立環境研究所

* 本報告書は古紙配給率 100%, 白色度 70%以下である。

平成14年度生活環境中電磁界に係る調査業務

検討会委員名簿(敬称略・あいうえお順)

氏名	所 属
高久 史麿	自治医科大学学長
岡本 浩一	東洋英和学院大学人間科学部教授
多氣 昌生	東京都立大学大学院工学研究科電気工学専攻教授
中村 好一	自治医科大学保健科学講座公衆衛生学部門教授
東 敏昭	産業医科大学産業生態科学研究所作業病態学研究室教授
吉村 健清	産業医科大学産業生態科学研究所臨床疫学教授
渡邊 昌	東京農業大学応用生物科学部栄養科学科公衆栄養学研究室教授
山口 直人	東京女子医科大学衛生学(二)教室主任教授
伊坂 勝生	徳島大学工学部 教授
長野 勇	金沢大学工学部電気・情報工学科教授
藤波 秀雄	電力中央研究所狛江研究所電気絶縁部部長
本田 靖	筑波大学体育科学系
笠島 茂	京都大学大学院医学研究科社会健康医学系専攻 健康解析学講座理論疫学分野 助教授
山田 外史	金沢大学自然計測応用研究センター教授
兜 眞徳	独立行政法人国立環境研究所首席研究官

目 次

1. 小児がん疫学調査の磁界測定データを利用した磁界レベル別曝露人口分布の推定
 2. 送電線（高圧送電線及び配電線）周辺における最大磁界レベル推定プログラムの検討
 - 2.1 : 電力線近傍での磁界環境推定システム
 - 2.2 : 配電線・送電線からの極低周波磁界計算
 - 2.3 : 電力線近傍での磁界環境推定シュミレーション結果および計測結果
 3. 電磁界に関する新たな研究、国際機関および諸外国の動向等に関する調査
 - 3.1 : 新たな研究のレビュー
 - 3.1.1 : 超低周波電磁界
 - 3.1.2 : 高周波電磁界
 - 3.2 : 国際機関および諸外国の動向等
 - 3.2.1 : WHO の動向
 - 3.2.2 : 諸外国の動向
- 添付資料 1. 高圧送電線近傍における磁界レベル測定例
- 添付資料 2. 調査記録用紙の記録例
- 添付資料 3. WHO の予防原則 (precautionary principle) についての考え方
- 添付資料 4. WHO: Establishing a dialogue on risks from electromagnetic fields (2002) の和訳

1. 小児がん疫学調査の磁界測定データを利用した磁界レベル別曝露人口分布の推定

はじめに

生活環境中の商用周波数磁界と小児白血病のリスクとの関連を示唆しているこれまでの疫学調査においては、磁界への曝露レベルとして、基本的に家屋内、とくに小児の部屋（寝室）、の磁界レベル（background level と呼ばれている）が対象とされている。したがって、磁界レベル別曝露人口分布を調べる場合にも、小児の部屋の磁界レベルを曝露指標とするのが最も適切であろうと考えられる。環境因子への曝露評価には一般に携帯用の個人曝露モニターを用いて実際の曝露レベルが測定される場合も多いが、磁界への曝露についても、実際の個人曝露レベルは、電気機器等の近傍において曝露される様々な一過性の高レベル磁界を反映するため、長期の曝露状態を評価するには安定した曝露指標とは言えない。

本研究では、全国規模で実施した小児がんの疫学調査(1999.4-2002.3)で対象とした対照者における1週間の子供の寝室にける磁界測定データ（この平均値を、ここでは「寝室の磁界レベル」と呼ぶ）について、その他の部屋でのスポット測定データ、家屋外でのスポット測定データとの比較なども加えて基本的解析を行い、わが国における曝露磁界レベル(background level)別の人口分布の推定やその特徴について検討することにした。

なお、今後必要となるであろうより詳細な曝露人口推計のため、単純に1週間の平均磁界レベルの分布を見るだけでなく、1週間内の磁界レベルの変動パターンや発生源との関係、季節変動、また、とくに近傍に高圧送電線がある場合の高圧送電線の電圧規格との関連などの基本的特徴についても解析した。

対象と方法

1) 対象者

上記疫学調査で解析対象となった対照児(0-15才)は703名（小児白血病の対照603と小児脳腫瘍の対照100）であったが、ここでは、マッチングさせた解析では除外されていた者も含め、計776名を対象とした。全対象776名は男458と女318であり、平均年齢は6.6(SD:4.0)才であった。また、居住地域の商用周波数別では50Hzが363と60Hzが413であった。

（注意）対象とした疫学調査の対照者は、症例児の性・年齢分布を反映している。また、抽出地域は189都府県のキャッチメントエリア（図2.1）に限定されており、全国の完全なランダムサンプルではない。

2) 磁界等の測定法

測定は磁界測定器 (EMDEX-Lite, Enertech 社製 (測定周波数帯域: 40Hz~1kHz)) により、30 秒間隔で 1 週間測定した。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。1 週間測定を選んだのは、日内変動のほか、週間変動 (比較的高磁界レベルを示す高压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。

測定は、上記の子供の寝室での 1 週間測定のほか、対象家屋の内外の数地点で 5 分間のスポット測定を行った。このための測定器には EMDEX-II (Enertech 社製 (測定周波数帯域: 40Hz~800Hz)) を用い、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。なお、これらの測定器による測定磁界レベルは 3 軸方向の実効平均値である。また、本研究では、磁界レベルは磁束密度 (マイクロテスラ、 μT) で表示する。

ところで、結果の中では、1 週間の時間平均磁界レベルの変動を示したが、対象者毎に測定を開始した時点が異なっていた。したがって、データを整理する段階で日曜から土曜までに統一しているために、1 週間の測定値を土曜と日曜の間で区切り、また、測定開始時点から 1 週間測定後の時点を連結させている。

本調査で高压送電線とは、電圧規格が 22kV-500kV の送電線と定義し、対応する送電線が対象者の住居から 100m 以内に存在していた場合には、その距離をレーザー光距離測定器 (Yardge Pro Model 20-1000, Bushnell Corp) により測定したほか、送電線までの地上距離や電圧規格などを詳細に調べた。また、家屋周辺の配線状況も同時に記録した。なお、調査時あるいは GIS による解析にも電力会社 10 社の高压送電線の経路地図を利用した。

結果と考察

(1) 「寝室の磁界レベル」の分布

「寝室の磁界レベル」の分布を見ると (表 1.1)、 $0.2 \mu\text{T}$ (2 mG) 未満は 743 名 (95.7%)、 $0.2 \mu\text{T}$ 以上は 33 名 (4.3%)、 $0.3 \mu\text{T}$ 以上は 16 名 (2.1%)、 $0.4 \mu\text{T}$ 以上は 6 名 (0.77%) であった。

(2) 「寝室の磁界レベル」と発生源との関連

屋内で測定される1週間の磁界レベルが $0.3 \mu\text{T}$ あるいは $0.4 \mu\text{T}$ 以上で、かつ、時間平均磁界レベルが（変動はあっても）全体的に高レベル傾向を示している場合には、屋外の高圧送電線、三相の配電線、100Vの家屋内外の配線などで発生している磁界を反映していることが考えられる。つまり、磁界レベルの測定は原則、周辺の電気機器から発生する磁界の影響を受けない条件下でおこなわれており、また、近傍で電気機器が使われた場合でも、磁界レベルの変動パターンは不規則な変動を示すため、上記の発生源の磁界によるパターンとは異なると考えられるからである。

そこで、まず、高圧送電線からの距離別に「寝室の磁界レベル」の平均値を見ると、距離が50m以内の対象者(14名)では、100m以上(723名)あるいは50-100m(39名)の対象者に比較して有意に高い傾向が示された(表1.2)。一方、「寝室の磁界レベル」の分布を送電線からの距離別にみると(図1.1)、50m以内の地域では全体的に低いレベルのものが少ないものの、 $0.3 \mu\text{T}$ あるいは $0.4 \mu\text{T}$ 以上のレベルを示すものも少ない傾向を示している。他方、100m以上の地域では低レベルのものも多いが、 $0.3 \mu\text{T}$ あるいは $0.4 \mu\text{T}$ を越えるレベルを示すものも少なくなかった。なお、この図は、参考までに50Hz地域と60Hz地域を分けて示してあるが、上記傾向は50Hz地域で強い傾向があった。

なお、高圧送電線が100m以内に見られない場合には、住居の周辺に三相の配電線や変電所や変圧器、さらには住宅内の配線などの寄与が考えられ、そうだとすれば、「寝室の磁界レベル」と屋外で測定された磁界レベルとが近似しているかどうか、また、変動のない高レベルが持続しているのか、あるいは送電線周辺などに特徴的な日内あるいは週間変動をするのかなどが問題となる。したがって、「寝室の磁界レベル」が $0.3 \mu\text{T}$ 以上を示したものについて個別のそれらのプロフィールを見てみた(表1.3)。また、それら16名について個別に1週間の時間平均磁界レベルの変動を図示した(図1.2)。

対象者No. 5, 6, 16は100m以内の近傍に高圧送電線があったものであり、その最大屋外磁界レベルは「寝室の磁界レベル」より大きいか、あるいは近似したレベルを示していた。また、それらの1週間の磁界レベルの変動は、一般的に見られる電力設備から発生する磁界の変動パターンを示していた(添付資料1に平成13年度の高圧送電線近傍における磁界レベル測定例を示す)。一方、その他の対象者13名では、対象者No. 3と12を除き、「寝室の磁界レベル」と最大屋外磁界レベルは概ね一致しており、また、1週間の磁界レベル変動パターンも一定程度安定していた。また、対象者No. 3と12では、最大屋外磁界レベルが「寝室の磁界レベル」より相当低く、屋内で発生している磁界の影響が示唆された。事実、No. 3は1週間の磁界レベル変動は、夜間にのみ高レベルを示す奇

異なるパターンを示していた。そこで、直接対象者に「測定期間中に何か測定器の近くで電気機器を使っていたかどうか」を確認したところ電動式のファンヒーターを使っていたとのことであった。なお、この測定時期は2月であった。しかし、対象者No. 12は、1週間の磁界レベル変動は極端な変化を含むパターンを示しているが、繰り返し昼間に上昇しており、また、集合住宅であったことから、屋内配線などからの磁界の影響を受けている可能性が考えられた。また、対象者No. 8と9は、1週間の磁界レベル変動は多少奇異な変動を示していたが、いずれも「寝室の磁界レベル」より屋外の磁界レベルが高い傾向を示しており、屋外の磁界レベルを反映しているものと考えられた。

(3) 磁界レベルの季節変動

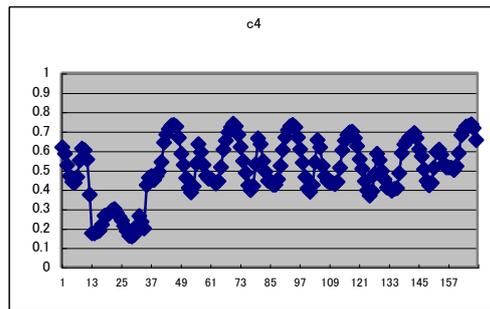
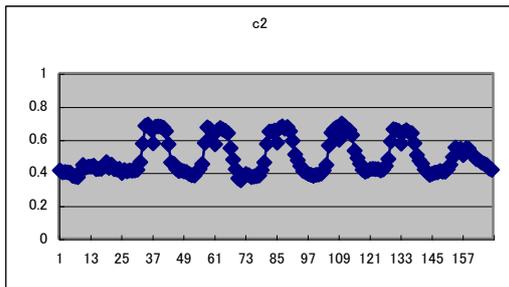
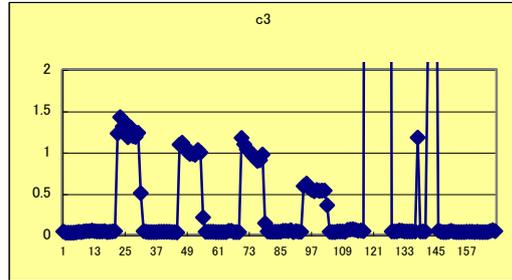
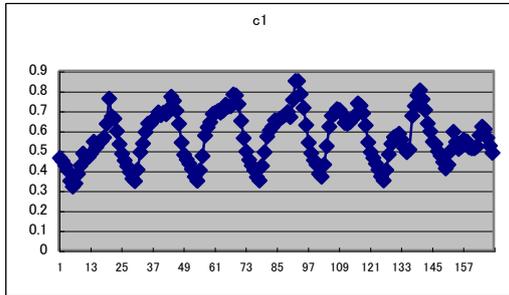
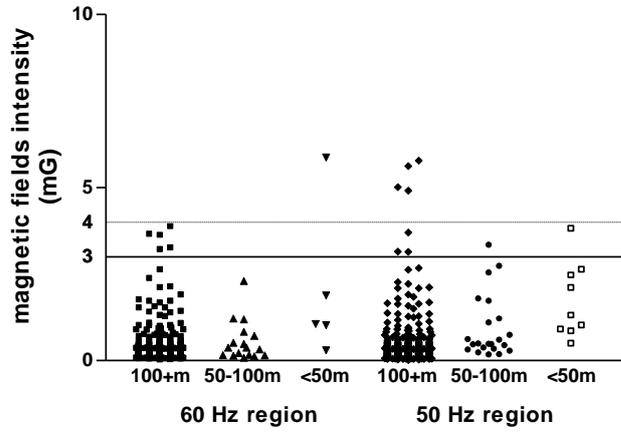
「寝室の磁界レベル」が $0.3 \mu\text{T}$ 以上の場合の日内および週間変動パターンの特徴については上述した。さらに、「寝室の磁界レベル」が電力消費の季節差のため季節変動をしている可能性が考えられた。そこで、磁界測定を行った月別の「寝室の磁界レベル」の分布を見たのが(表1.4)である。測定数は8-9月に少ない傾向があったが、磁界レベルの分布には統計的な有意差はなかった。また、同様に、1-3月を冬、4-6月を春、7-9月を夏、10-12月を秋と定義して、それら季節別の磁界レベルの分布に違いがあるかについても調べた(表1.5)。この場合にも統計的な有意差は示されなかった。

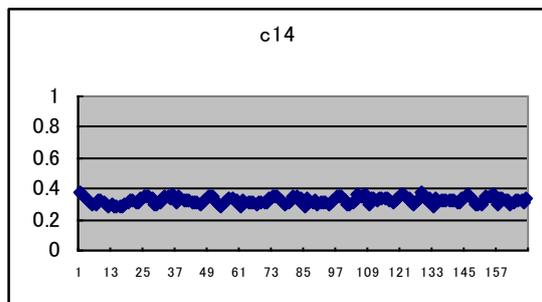
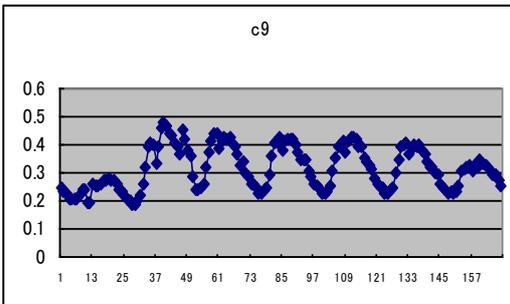
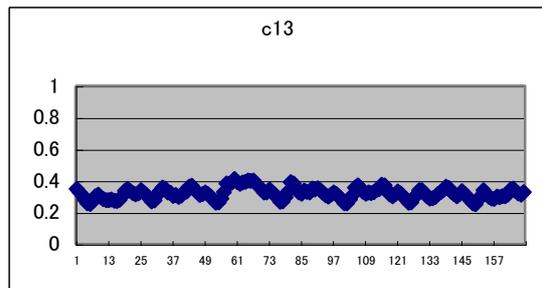
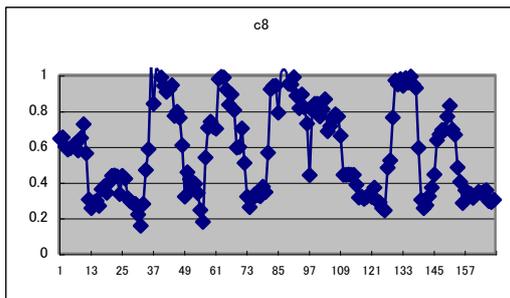
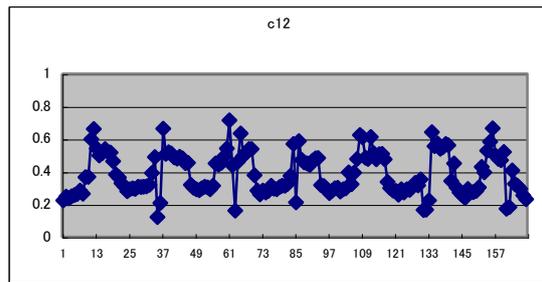
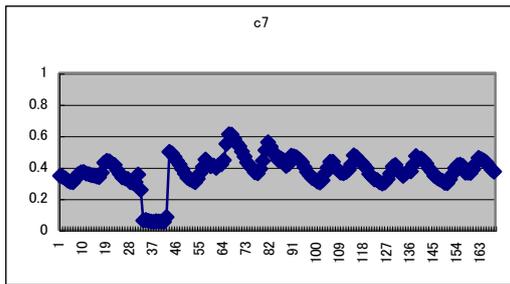
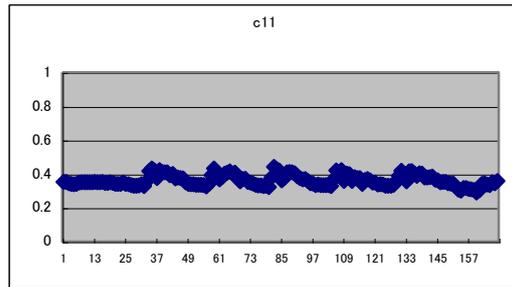
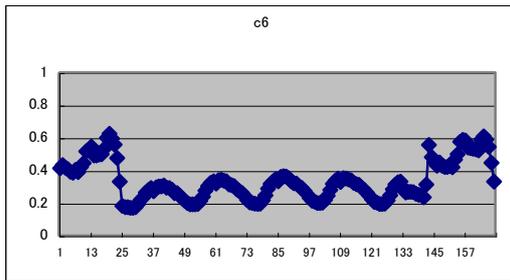
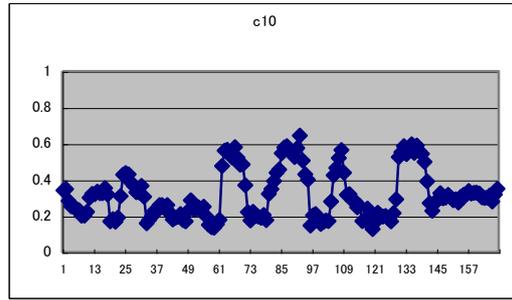
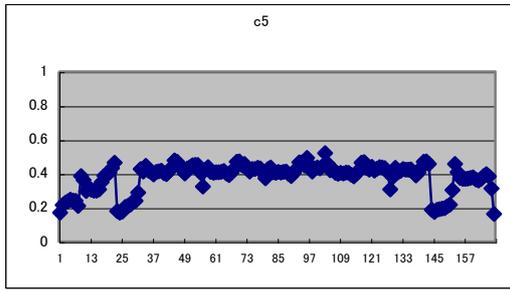
(4) 高圧送電線の電圧規格と「寝室の磁界レベル」との関連

次の研究課題との関連で、近傍に高圧送電線がある場合の送電線の電圧規格と「寝室の磁界レベル」との関係を調べた。

まず、全対象者の最も近い高圧送電線の電圧規格別の分布を見ると(表1.6)、頻度としては66kVが最も多く、次いで154kV、77kVであった。また、これらの電圧規格別の磁界レベルの分布を $0.1 \mu\text{T}$ 未満、 $0.1-0.2 \mu\text{T}$ 、 $0.2-0.3 \mu\text{T}$ 、 $0.4 \mu\text{T}$ 以上に分けて見たのが(表1.7)である。 χ 自乗検定で有意な差異は認められなかった。さらに、これらのうち、送電線からの距離が50m以内のものだけを抽出して、電圧規格間の「寝室の磁界レベル」の平均値を比較したのが(表1.8)であるが電圧規格間での有意な差は認められなかった。つまり、全体的な傾向として、送電線近傍の家屋における「寝室の磁界レベル」には、電圧規格による有意な差異はないことが示唆された(なお、この点については、「送電線周辺における最大磁界レベル推定プログラムの検討」でさらに検討している)。

bedroom MF levels by distance from power line in 50 Hz and 60 Hz regions





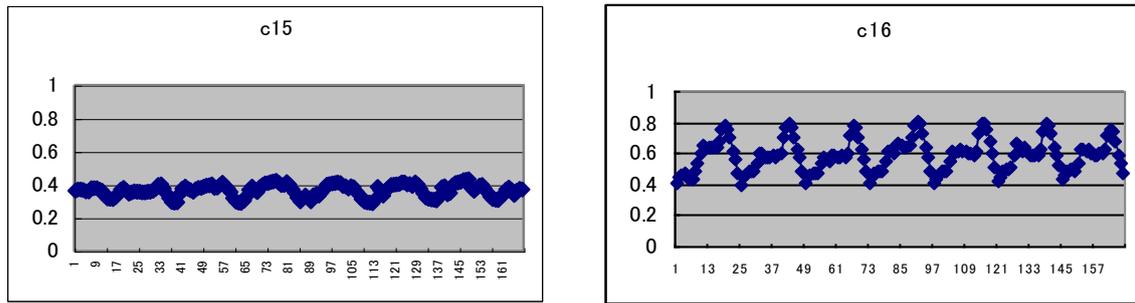


図2：「寝室の磁界レベル」が $0.3 \mu\text{T}$ 以上であった対象者について、個人別の1週間の時間平均磁界レベルの変動パターンを示す。C1-C16は対象者のNo. であり、表3中の対象者No. と同じである。なお、これらの図では磁界レベルを μT で示している。

表1.1：「寝室の磁界レベル」 (μT) の分布

磁界レベル	度数	パーセント	度数	パーセント
0.1 未満	694	89.43	694	89.43
0.1-0.22	49	6.31	743	95.75
0.2-0.3	17	2.19	760	97.94
0.3-0.4	10	1.29	770	99.23
0.4 以上	6	0.77	776	100.00

表1.2： 高圧送電線からの距離別にみた「寝室の磁界レベル」 (μT)

No.	距離	n	磁界レベル	標準誤差	Pr > t
1.	100+m	723	0.045	0.003	<.0001
2.	50-100m	39	0.077	0.015	<.0001
3.	<50m	14	0.184	0.025	<.0001

平均値の差の有意性検定結果

i/j	1	2	3
1		0.0314	<.0001
2	0.0314		0.0002
3	<.0001	0.0002	

表1.3：「寝室の磁界レベル」が 0.3 μ T以上を示した16名の磁界発生源と関連する項目についてのプロフィール

対照者 No.	子供の寝室の 磁界レベル	屋外の最大 磁界レベル	一戸建て	送電線まで の距離(m)	近傍の送電線 の電圧規格(KV)
1	0.57	0.24	0	100+	.
2	0.49	0.68	0	100+	.
3	1.76	0.05	0	100+	.
4	0.50	0.15	0	100+	.
5	0.38	0.44	0	< 50	66
6	0.33	0.22	0	50-100	154
7	0.38	0.18	0	100+	.
8	0.58	0.96	0	100+	.
9	0.32	0.38	0	100+	.
10	0.32	0.58	0	100+	.
11	0.36	0.37	0	100+	.
12	0.39	0.07	0	100+	.
13	0.32	0.90	0	100+	.
14	0.33	0.20	0	100+	.
15	0.36	0.26	0	100+	.
16	0.59	0.54	1	< 50	60

磁界レベル=mG。一戸建て=0は集合住宅、一戸建て=1は一戸建てを示す。屋外の最大磁界レベルとは、敷地の四隅のスポット測定値あるいは玄関とその反対側のスポット測定値のうちの最大磁界レベルを示す。

表1.4: 月別の「寝室の磁界レベル」の分布

「寝室の磁界レベル」 (mG)						
測定月	1未満	1-2	2-3	3-4	4以上	合計
1	60	5	0	1	0	66
	90.91	7.58	0.00	1.52	0.00	
2	76	3	2	2	1	84
	90.48	3.57	2.38	2.38	1.19	
3	56	3	0	1	0	60
	93.33	5.00	0.00	1.67	0.00	
4	45	0	0	0	0	45
	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
5	50	9	2	1	0	62
	80.65	14.52	3.23	1.61	0.00	
6	71	2	1	1	1	76
	93.42	2.63	1.32	1.32	1.32	
7	41	3	4	0	1	49
	83.67	6.12	8.16	0.00	2.04	
8	38	2	1	0	0	41
	92.68	4.88	2.44	0.00	0.00	
9	34	5	1	1	0	41
	82.93	12.20	2.44	2.44	0.00	
10	71	7	2	1	1	82
	86.59	8.54	2.44	1.22	1.22	
11	82	7	2	2	1	94
	87.23	7.45	2.13	2.13	1.06	
12	70	3	2	0	1	76
	92.11	3.95	2.63	0.00	1.32	
合計	694	49	17	10	6	776
	89.43	6.31	2.19	1.29	0.77	100.00

注) χ 自乗検定で有意差なし。

表1.5: 季節別の「寝室の磁界レベル」の分布

		「寝室の磁界レベル」 (μ T)					
季節	月	0.1未満	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4以上	合計
冬	1-3月	192	11	2	4	1	210
		91.43	5.24	0.95	1.90	0.48	
春	4-6	166	11	3	2	1	183
		90.71	6.01	1.64	1.09	0.55	
夏	7-9	113	10	6	1	1	131
		86.26	7.63	4.58	0.76	0.76	
秋	10-12	223	17	6	3	3	252
		88.49	6.75	2.38	1.19	1.19	
合計		694	49	17	10	6	776
		89.43	6.31	2.19	1.29	0.77	100.00

注) χ 自乗検定で有意差なし。

表1.6: 最も近くの高圧送電線の電圧規格 (KV) 別の対象者分布

規格 (kV)	度数	パーセント
22	27	3.48
33	8	1.03
60	95	12.24
66	260	33.51
77	122	15.72
100	8	1.03
110	30	3.87
154	139	17.91
200	2	0.26
220	12	1.55
275	54	6.96
500	19	2.45
776		100.0

表1.7: 高压送電線の電圧規格別にみた子供の寝室の平均磁界レベルの分布

「寝室の磁界レベル」 (μ T)						
高压送電線 (KV)	0.1未満	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4 以上	
22	24	2	1	0	0	27 名
	88.89	7.41	3.70	0.00	0.00	100.0 %
33	7	0	0	1	0	8
	87.50	0.00	0.00	12.50	0.00	100.0 %
60	85	6	3	0	1	95
	89.47	6.32	3.16	0.00	1.05	100.0 %
66	235	13	5	5	2	260
	90.38	5.00	1.92	1.92	0.77	100.0 %
77	113	7	1	1	0	122
	92.62	5.74	0.82	0.82	0.00	100.0 %
100	7	0	0	1	0	8
	87.50	0.00	0.00	12.50	0.00	100.0 %
110	27	3	0	0	0	30
	90.00	10.00	0.00	0.00	0.00	100.0 %
154	122	12	3	1	1	139
	87.77	8.63	2.16	0.72	0.72	100.0 %
200	2	0	0	0	0	2
	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.0 %
220	11	0	1	0	0	12
	91.67	0.00	8.33	0.00	0.00	100.0 %
275	43	6	2	1	2	54
	79.63	11.11	3.70	1.85	3.70	100.0 %
500	18	0	1	0	0	19
	94.74	0.00	5.26	0.00	0.00	100.0 %
合計	694	49	17	10	6	776
	89.43	6.31	2.19	1.29	0.77	100.00

注) χ 自乗検定で有意差なし。

表1.8: 高圧送電線から50 m以内の送電線規格 (KV) 別の平均「寝室の
磁界レベル」 (μ T)

電圧規格 (KV)	n	平均磁界レベル	標準誤差	Pr > t
22	1	0.09	0.14	0.5526
60	2	0.39	0.10	0.0039
66	6	0.14	0.06	0.0381
110	1	0.11	0.14	0.4673
154	4	0.19	0.07	0.0292

注) 電圧規格間で有意差は見られなかった。

2. 送電線（高圧送電線および配電線）周辺における最大磁界レベル推定プログラムの検討

はじめに

本研究で検討する送電線（配電線も含む）周辺における最大磁界レベル推定プログラム（K大のY氏が開発）は、一部の地域（H電力管内）を対象に開発されたものであり、家屋周辺の高圧・低圧送電線の配線規格、距離、住居形態などの情報をもとに、問題となる送電線が最高レベルで運用される場合に発生する最大磁界レベルを計算により推定するものである（「2.1 電力線近傍での磁界環境推定システム」を参照されたい）

同プログラムの全国各地での汎用性や実際の磁界レベル推定への応用などを前提として、その限界や実測値との乖離状態などを調べ、改良すべき問題点を、検討することを目的とした。

そのため、送電線の規格や位置関係が異なる数十軒の家屋を対象とした調査（外注による）を実施することにした。ただし、対象地点の選出は、前課題における疫学調査で選出された対照候補者（調査協力依頼対象者全員）から、最寄りの高圧送電線までの距離が100m以内で、かつ、住所が東京都内に限定して行った。また、この調査の直接対象は、選出された候補者ではなく、その住居の近傍にある高圧送電線であり、それからの距離別の磁界レベル測定が主たる目的であった。

対象と方法

高圧送電線の磁界レベル測定ポイントの選出プロセスは以下の通りである。まず、上記疫学調査では19都府県からなるキャッチメントエリア（ 2.1）内で発生した1症例当たり10対照候補者を選び調査協力依頼をしており、その中で参加した方の割合などを検討するため、その全ての対照候補者5,509名について、住居の緯度・経度情報のデータが整備されていた。そこで、高圧送電線の走行地図をGIS上でマップ化し（ 2.2）、さらに、そこに上記対照候補者の家屋の位置を重ね合わせ、住居から最も近い送電線までの距離をGISにより計算した。 2.3に東京都での両者を重ねてプロットした状態を示す。今回の調査ではいろいろな制約を考慮して、全体の中から東京都内の高圧送電線からの距離が100m以内の住居41を選出した。なお、このGISのsoftwareにはArcGIS8.2（ESRI）を用いた。

以上で選ばれた41の測定ポイントについて、以下のように磁界レベル測定を実施した。それぞれの対象家屋近傍の高圧送電線を対象に、水平距離で0, 30, 60及び100mの地点、また対象家屋の近くの5ポイントで磁界レベルを測定した。ただし、送電線の直下（中心線）から水平に地図上に距離別のラインを引いても、各種障害物のため実際に測定できる場所は限られており、当該送電線の垂直方向に30, 60及び100mの測定ポイントを設定することはできない場合が大半

であった。したがって、それぞれ測定可能な方向に引いた直線上で測定箇所を設定しており、結果として送電線までの水平距離は若干前後した。また、複数の送電線の電線のうち最も近い電線までの直線距離をレーザー距離測定計距離測定 (Bushnell社 YadagePro1000) を用いて測定し、かつ、その仰角を望遠高度付ハンドレベル (L : 200mm) ((株)金指測器製作所) を用いて計測した。また、測定地点の緯度経度測定にはポケナビ・ミニ FG-530 (エンペックス気象計(株)) を用いた。さらに、最大磁界レベル推定プログラムに必要となる高圧送電線の電圧規格などについては、送電線マップ上の情報を整理し、現地において確認した。

ただし、これらの磁界測定は、疫学調査で使った EMDEX-II (Enertech 社製) を用いて各測定ポイントにつき 5 分間行った。また、測定開始前に機器校正を T 大工学部で行った。

以上の一連のプロセスを図示したのが **図 2.4** である。



図 2.1 : 疫学調査 (訪問調査) の対象地域 (色の濃い部分がキャッチメントエリア)

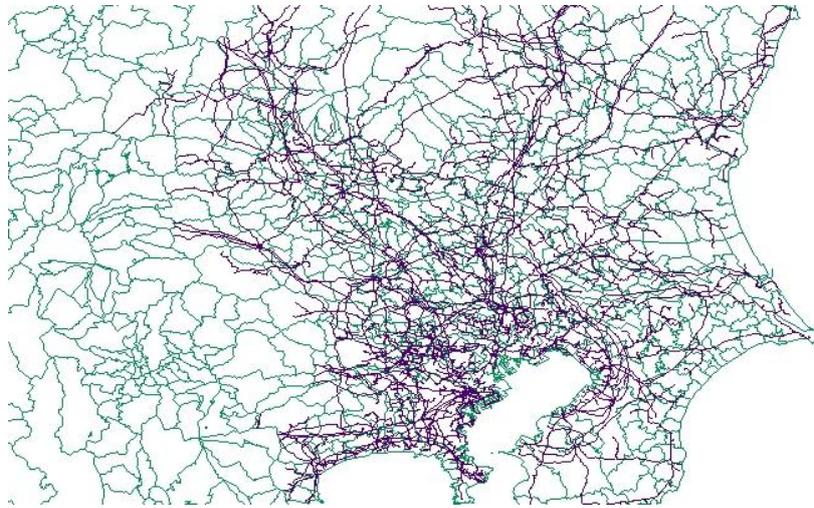


図 2.2 : GIS による高圧送電線の走行マップを示す (関東地域を拡大)

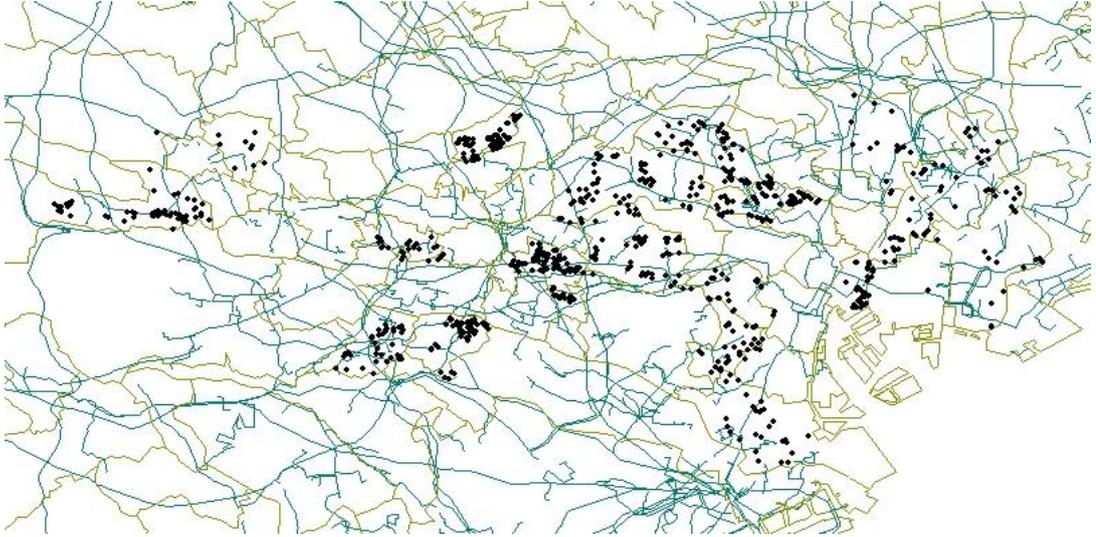


図 2.3 : 対照者候補の住宅位置をプロットした図 (東京都の対照候補者の場合)

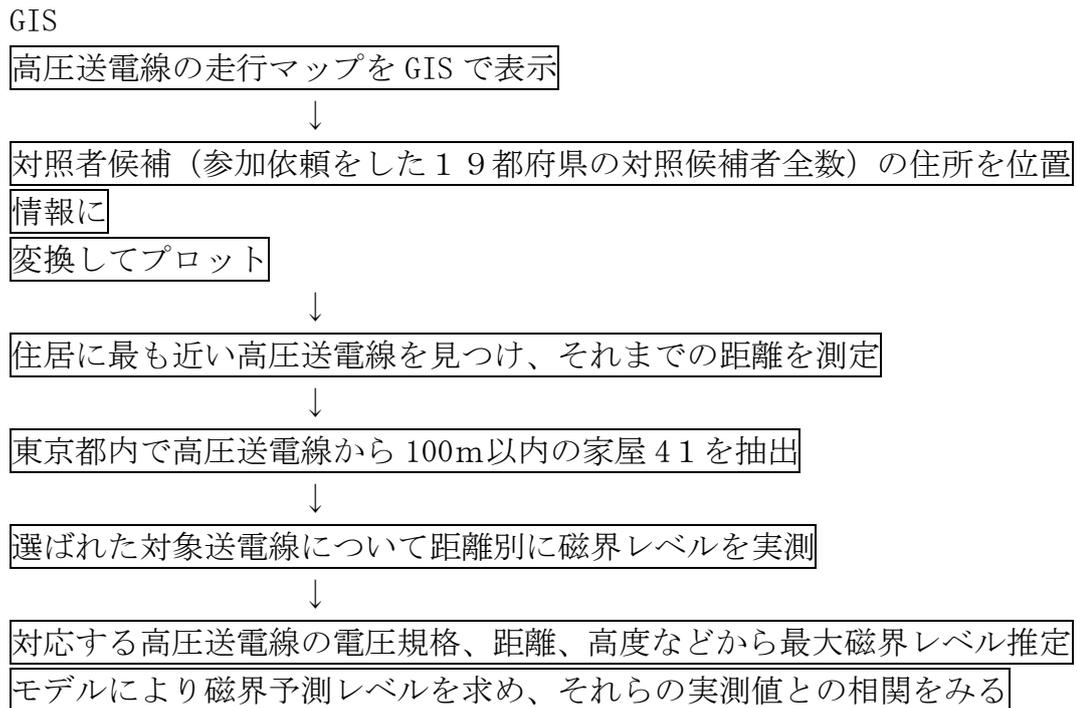


図 2.4: 研究のフローチャート

結果と考察

本調査で対象となった 41 の高压送電線に関する情報（水平距離、高度、碍子の数、最も近い電線までの距離など）は、H電力管内の高压送電線の特徴を示す情報とは基本的に異なっていた。つまり、実際の測定値と推計モデルで得られる推計値との関連を検討するには、推計モデルに必要な東京周辺の高压送電線に関する基本的情報を入手して改変することが必要であるため継続研究が望まれる。

なお、対象 41 測定ポイントでの磁界測定結果を一覧表にしたのが(表 2.1)である。それら 41 地点のうち対象家屋の近くで $0.2\mu\text{T}$ 未満は 29 例、 $0.2\mu\text{T}$ 以上は 12 例、 $0.3\mu\text{T}$ 以上は 9 例、 $0.4\mu\text{T}$ 以上は 3 例である。参考までに磁界レベル測定記録を添付資料 2 に示す。また、ちなみに $0.4\mu\text{T}$ 以上を示した 3 例を個別に見ると、はいずれも高压送電線の直近（30m 以内）に位置する家屋であった。それらの送電線からの距離別の磁界レベル測定値を図示したのが図 7 である。同図に示されるように高压送電線からの距離 30m 以上での距離減衰は明らかであるが、送電線近傍では必ずしも低下傾向が明らかではないこと、また、100m の地点でも $0.2\mu\text{T}$ を越える磁界レベルがありうることなどが示された。

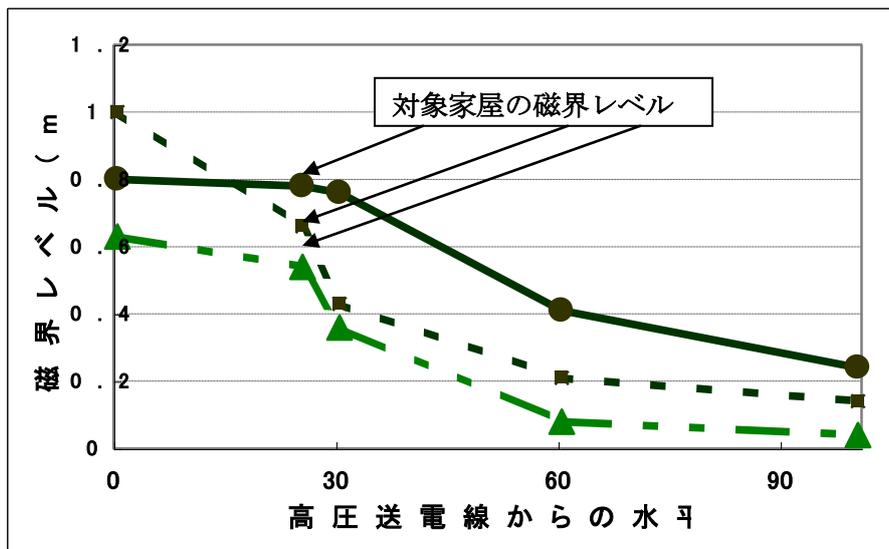


図 2.5 : 対象家屋の位置で $0.4\mu\text{T}$ 以上であった 3 例の送電線からの水平距離 (上述のように多少の変動がある) 別磁界レベルを示す。

表 2.1 : 41 測定ポイントにおける近傍の高圧送電線からの距離別の磁界レベル測定値

No.	実測値 (μ T)					送電線の 回線数	碍子の数	備 考
	直下	30m	60m	100m	対象家屋			
1	0.15	0.09	0.06	0.02	0.06	2	42	碍子の数が該当なし。
2	0.18	0.10	0.10	0.36	0.10	2	38	碍子の数が該当なし。
3	0.19	0.11	0.05	0.15	0.06	2	18	高さの入力値が小さすぎる。
4	0.18	0.17	0.06	0.04	0.21	5	18	回線数が該当なし。
5	0.27	0.10	0.05	0.03	0.02	4	14	碍子の数が該当なし。
6	0.50	0.22	0.15	0.05	0.37	2	16	高さの入力値が小さすぎる。
7	0.25	0.03	0.01	0.20	0.01	2	14	碍子の数が該当なし。
8	0.18	0.04	0.06	0.04	0.04	4	16	高さの入力値が小さすぎる。
9	0.80	0.33	0.12	0.05	0.06	2	16	高さの入力値が小さすぎる。
10	0.29	0.08	0.03	0.33	0.03	4	14	碍子の数が該当なし。
11	0.34	0.12	0.04	0.03	0.03	4	16	高さの入力値が小さすぎる。
12	0.40	0.25	0.17	0.11	0.19	4	14	碍子の数が該当なし。
13	0.80	0.76	0.41	0.24	0.78	4	14	碍子の数が該当なし。
14	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	2	6	高さの入力値が小さすぎる。
15	0.42	0.24	0.14	0.09	0.31	4	12	高さの入力値が小さすぎる。
16	0.30	0.19	0.10	0.10	0.07	4	12	高さの入力値が小さすぎる。
17	0.33	0.14	0.09	0.05	0.18	4	12	高さの入力値が小さすぎる。
18	0.39	0.22	0.09	0.04	0.09	4	12	高さの入力値が小さすぎる。
19	0.29	0.20	0.11	0.05	0.18	4	12	高さの入力値が小さすぎる。
20	0.29	0.22	0.06	0.03	0.28	2	14	碍子の数が該当なし。
21	0.84	0.23	0.10	0.05	0.09	6	12	回線数が該当なし。
22	1.12	0.26	0.08	0.03	0.03	6	12	回線数が該当なし。
23	0.32	0.28	0.19	0.22	0.08	2	14	碍子の数が該当なし。
24	0.95	0.24	0.10	0.05	0.08	6	12	回線数が該当なし。
25	0.54	0.17	0.18	0.09	0.09	6	12	回線数が該当なし。
26	2.38	0.45	0.11	0.02	0.03	2	16	高さの入力値が小さすぎる。
27	2.38	0.45	0.11	0.02	0.03	2	16	高さの入力値が小さすぎる。
28	2.38	0.45	0.11	0.02	0.03	2	16	高さの入力値が小さすぎる。
29	0.56	0.26	0.13	0.16	0.10	2	14	碍子の数が該当なし。
30	0.26	0.24	0.30	0.56	0.24	2	28	碍子の数が該当なし。
31	0.33	0.18	0.10	0.09	0.05	2	16	高さの入力値が小さすぎる。
32	0.50	0.20	0.09	0.09	0.25	2	16	高さの入力値が小さすぎる。

33	0.26	0.12	0.06	0.04	0.36	2	28	罫子の数が該当なし。
34	0.26	0.08	0.03	0.02	0.06	2	14	罫子の数が該当なし。
35	1.00	0.43	0.21	0.14	0.66	2	14	罫子の数が該当なし。
36	0.44	0.26	0.02	0.00	0.03	4	14	罫子の数が該当なし。
37	0.63	0.36	0.08	0.04	0.54	2	14	罫子の数が該当なし。
38	0.55	0.54	0.24	0.05	0.07	2	14	罫子の数が該当なし。
39	0.26	0.15	0.14	0.02	0.07	2	16	高さの入力値が小さすぎる。
40	0.74	0.34	0.13	0.07	0.23	4	14	罫子の数が該当なし。
41	0.43	0.19	0.11	0.06	0.30	2	14	罫子の数が該当なし。

2.1 電力線近傍での磁界環境推定システム

居住地区を通っている送電線、配電線などの電力線からの磁界は、公衆にとって関心のあるところである。しかし、公衆にとってそれぞれの居住場所での磁界を知る機会は少なく、そのことがさらに公衆が磁界環境に危惧する原因でもある。そこで本研究では、一般公衆に磁界環境の定量的な情報を提供するための磁界環境推定システムを構築した。本システムは、一般公衆には計測できない電力線の形状および流れる電流の一般例を与えることにより、もっとも大きな値を推定して磁界環境を解析するとともに、その値と磁界環境のガイドラインを比較できるように情報を提供するものである。

磁界環境推定システムについて

本磁界環境推定システムにおいては、北陸地区に限定して電力線の形状および流れる電流の上限値を日中時、夜間時および送電線の最大負荷時の三種類の電流値を推定して、公衆にはできる限り少ないデータの入力から磁界環境の値（考えられる最大の値）を推定した。また、ガイドライン（ICNIRP）を表示し、公衆が各自で評価できるようにシステムを構築した。本磁界環境システムをホームページに載せ、インターネットからアクセスできるようにすることで、一般公衆に情報を提供できると考えている。

本磁界環境推定システムのフローチャートを図 2.6 に示す。電力線としては送電線と配電線の二種類に分けている。このシステムの特徴は、公衆には情報の得にくい送電線および配電線の形状を送電電圧により設定し、電流値の推定値としては最大負荷時、平日日中時および休日夜間時の 3 つの値を設定している点である。最大負荷時の電流値を 100%とした場合、平日日中時の電流値を 60%、休日夜間時の電流値を 30%と設定している。最大負荷時電流値というのは、送電線にその電流が流れても運営できる最大の電流値である。また平日日中時電流値を最大負荷時の 60%と設定した理由は、例えば、2 回線送電線で事故により 1 回線が不通となった場合、回復作業中もう 1 回線に 120%の電流まで流しても耐えられるように電線は設計されていることから、60%と設定している。これらの値は、北陸電力株式会社により設定されている。休日夜間時電流値は、一般に夜間の電力供給値は平日日中時の半分程度であることから、30%と設定している。

公衆は、主に居住場所と電力線の距離のみを入力することでデータを得ることができる。計算された磁界環境について、利用者がその値を把握、認識できるようにガイドラインを示して、比較・検討できるよう表示に工夫した。また、各所にヘルプ画面を用意して、データ項目の意味、入力の仕方およびデータの解釈などの説明を加え、理解を容易に、また誤解を与えないように配慮している。

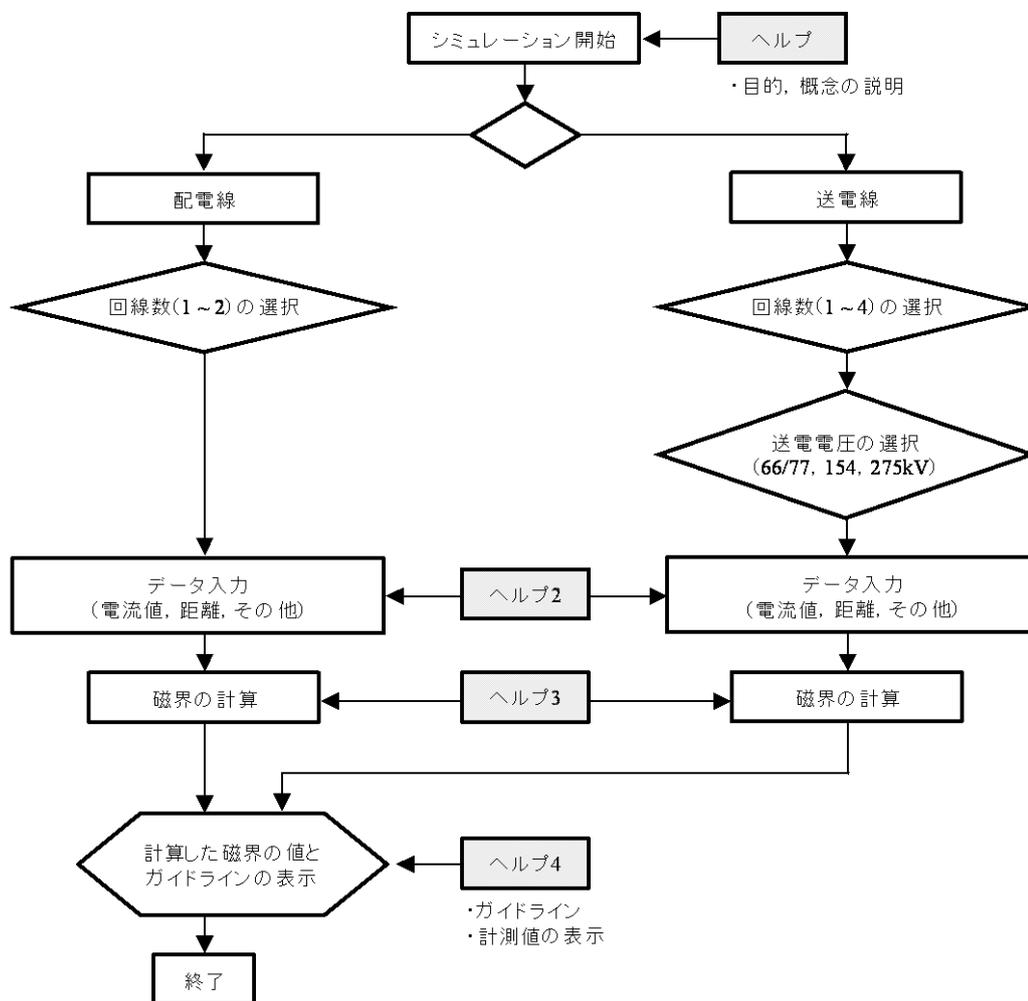


図 2.6 磁界環境推定システムのフローチャート

2.2 配電線・送電線からの極低周波磁界計算

本節では、磁界環境推定システムに用いた計算手法を示す。

2.2.1 磁界計算の仮定

(i) 電線は均一高さの直線電流とする。

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi r} I \quad (5.1)$$

r : 距離, I : 線電流

(ii) 配電線, 送電線ともに対称三相電流が流れている。

$$\text{a 相 (R 相)} \quad \dot{I}_a = I$$

$$\text{b 相 (S 相)} \quad \dot{I}_b = I e^{-j\frac{2}{3}\pi} \quad (5.2)$$

$$\text{c 相 (T 相)} \quad \dot{I}_c = I e^{-j\frac{4}{3}\pi}$$

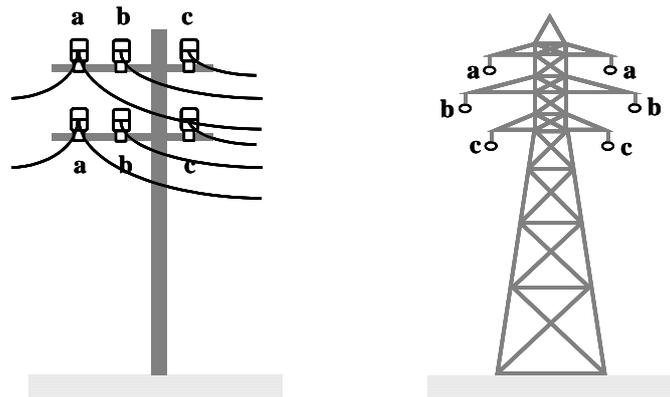
(iii) 磁界の値は実行値とする。

(iv) 近似楕円磁界として計算する。

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2} \quad (5.3)$$

(v) 配電線・送電線の相配置を図 2.7 に示す。

一般的な配電線・送電線の相配置は逆相配置である。これは送電線近傍の磁界は、順相配置よりも逆相配置の方が小さくなるからである。しかし実際には順相の送電線も存在することから、本システムでは順相配置で磁界を計算している。つまり、考えられる最大の磁界を見積もっている。



(a) 配電線 (2 回線)

(b) 送電線 (2 回線)

図 2.7 配電線・送電線の相配置例

2.2.2 計算手順

①

$$\text{距離 } r = \sqrt{H^2 + D^2} \quad (5.4)$$

$$\text{磁束密度 } B = \frac{\mu_0}{2\pi r} I \quad (5.5)$$

水平成分

$$B_H = B \sin\theta = B \cdot \frac{H}{r} \quad (5.6)$$

垂直成分

$$B_V = B \cos\theta = B \cdot \frac{D}{r} \quad (5.7)$$

② 三相成分の合成

a 相 (水平, 垂直成分) : B_{Ha}, B_{Va}

b 相 (水平, 垂直成分) : B_{Hb}, B_{Vb} (5.8)

c 相 (水平, 垂直成分) : B_{Hc}, B_{Vc}

水平成分の合成 (ベクトル) : \dot{B}_H

$$\begin{aligned} \dot{B}_H &= B_{Ha} + B_{Hb}e^{-j\frac{2}{3}\pi} + B_{Hc}e^{-j\frac{4}{3}\pi} \\ &= (B_{Ha} + B_{Hb}\cos\frac{2}{3}\pi + B_{Hc}\cos\frac{4}{3}\pi) \\ &\quad - j(B_{Hb}\sin\frac{2}{3}\pi + B_{Hc}\sin\frac{4}{3}\pi) \\ B_H &= \sqrt{B_{Ha}^2 - \frac{1}{2}B_{Hb}^2 - \frac{1}{2}B_{Hc}^2 + \frac{\sqrt{3}}{2}B_{Hb}^2 - \frac{\sqrt{3}}{2}B_{Hc}^2} \end{aligned} \quad (5.9)$$

垂直磁界の合成 (ベクトル) : \dot{B}_V

$$\begin{aligned} \dot{B}_V &= B_{Va} + B_{Vb}e^{-j\frac{2}{3}\pi} + B_{Vc}e^{-j\frac{4}{3}\pi} \\ B_V &= \sqrt{B_{Va}^2 - \frac{1}{2}B_{Vb}^2 - \frac{1}{2}B_{Vc}^2 + \frac{\sqrt{3}}{2}B_{Vb}^2 - \frac{\sqrt{3}}{2}B_{Vc}^2} \end{aligned} \quad (5.10)$$

磁界の合成値 : B

$$B = \sqrt{B_H^2 + B_V^2} \quad (5.11)$$

③ 2 回線以上においては, 式(5.9), 式(5.10)において和をとる.

2.3 電力線近傍での磁界環境推定シミュレーション結果および計測結果

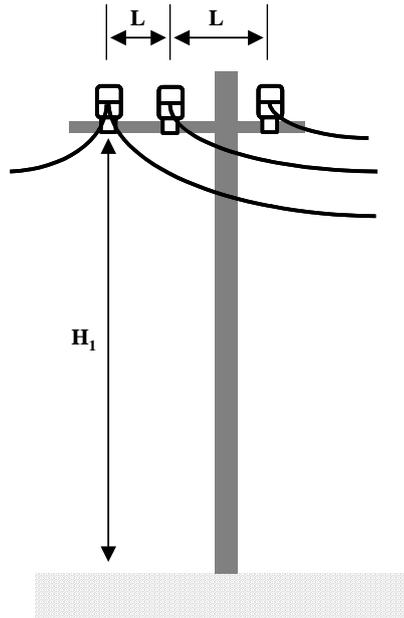
図 2.8(a) から図 2.8(i) に、配電線・送電線の回線別および送電電圧別の磁界推定シミュレーション結果を示す。推定結果の妥当性を示すために計測結果も付記してある。

同図より、平日日中時および夜間休日時の計測値は、それぞれの推定値よりもほとんどの場合小さくなることがわかる。例えば図 2.8(b) において、平日日中時の計測値がその推定値よりも大きくなっている点もあるが、これは地形により地上から電力線までの距離が短くなっている場合であり、それでも最大負荷時の推定値よりは小さくなる。つまり、最大負荷時の電流値を 100%、平日日中時の電流値を 60%、休日夜間時の電流値を 30% として磁界を推定する方法は妥当であるといえる。したがって、本磁界環境推定システムを用いることにより、一般に推定値は実際の値よりもやや高めであるということを考慮することで、一般公衆が電力線からの磁界を推定することは可能であるといえる。

また、計測値および推定値ともにガイドラインで定められた公衆に対する基準値(表 2.2)よりも十分小さいことが確認できる。

表 2.2: 周波数 60Hz における公衆および職業者に対する基準値

	磁束密度 [μT]
公衆に対する基準値	83.3
職業者に対する基準値	416.7



高さ H_1 [m]	12
線間 L [m]	0.65
最大負荷時電流値 [A]	390 (100%)
平日日中時電流値 [A]	230 (60%)
休日夜間時電流値 [A]	110 (30%)

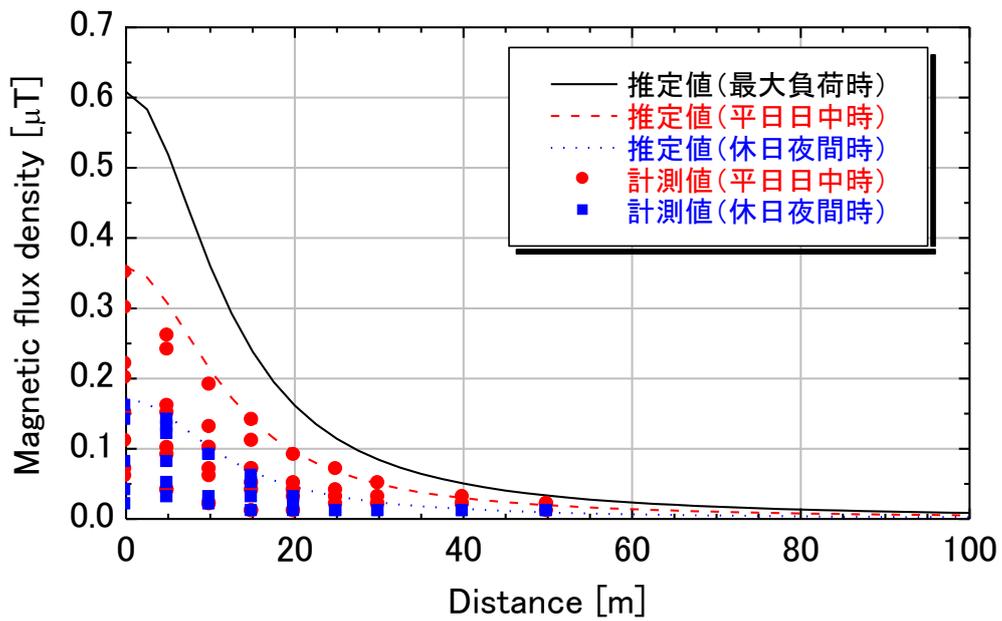


図 2.8(a) : 6.6/7.7kV 配電線 (1 回線)

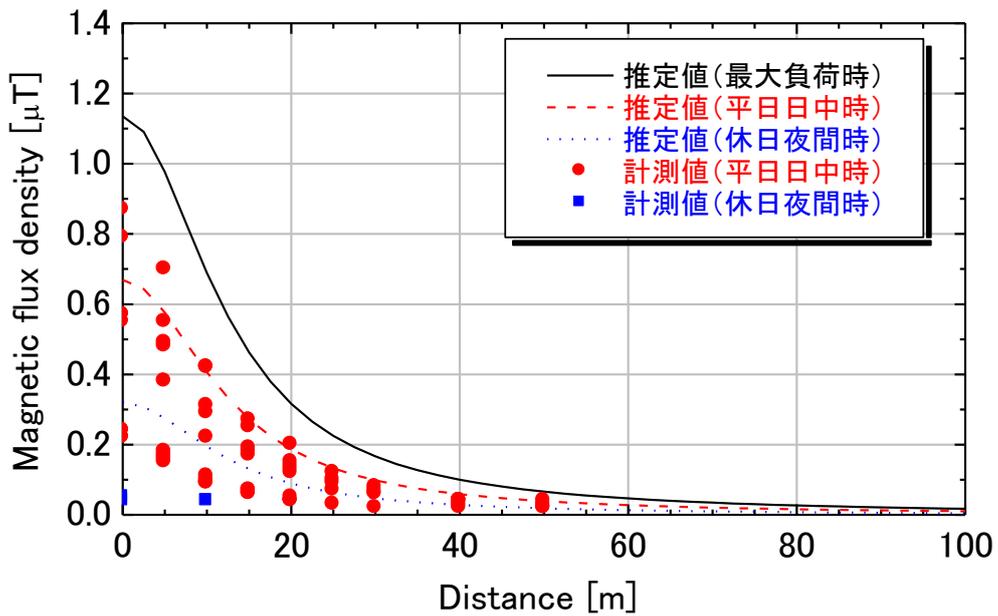
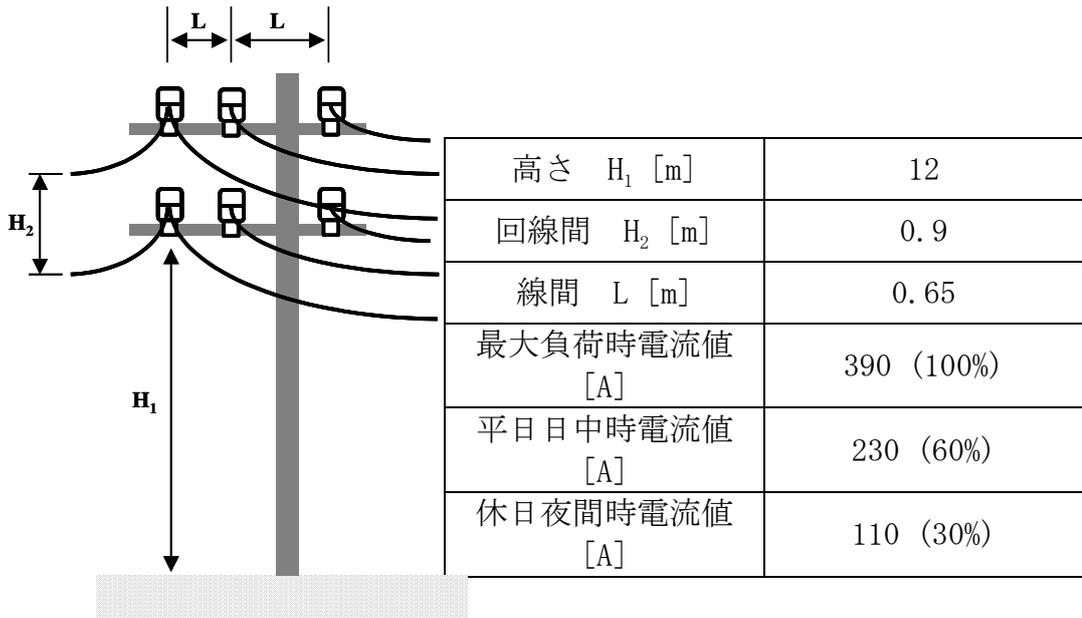
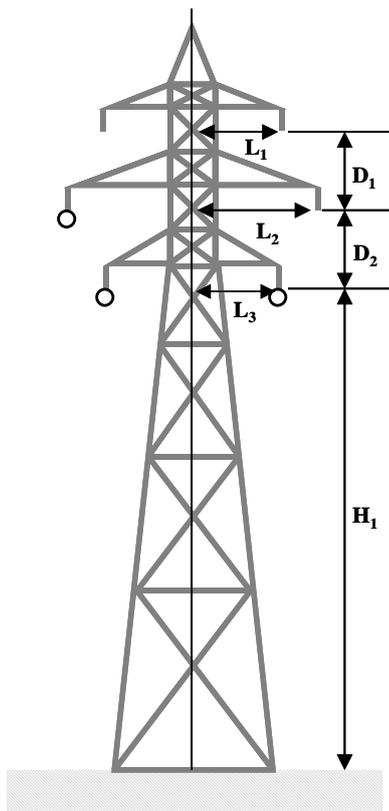


図 2.8(b): 6.6/7.7kV 配電線 (2 回線)



高さ H_1 [m]	27
線間 D_1 [m]	2.8
線間 D_2 [m]	2.8
腕間 L_1 [m]	2.2
腕間 L_2 [m]	3.8
腕間 L_3 [m]	2.7
最大負荷時電流値 [A]	1230 (100%)
平日日中時電流値 [A]	740 (60%)
休日夜間時電流値 [A]	370 (30%)
碍子の個数	5 ~ 6

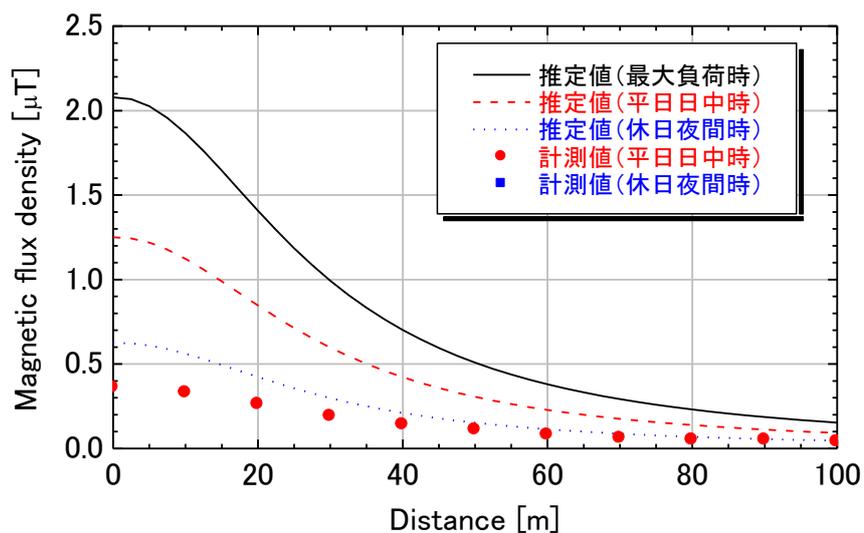
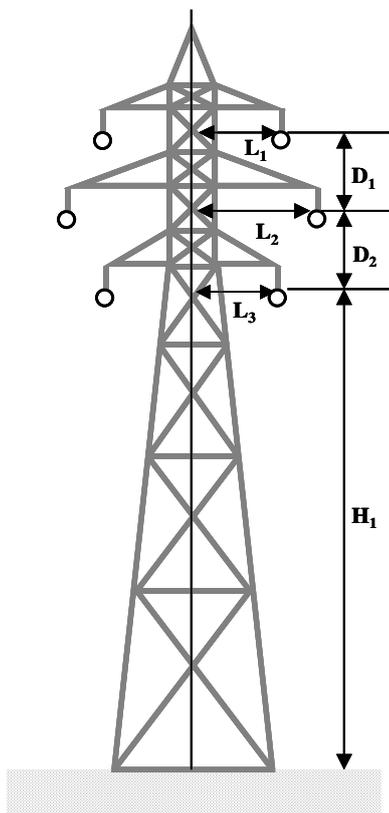


図 2.8(c) : 66/77kV 送電線 (1 回線)



高さ H_1 [m]	27
線間 D_1 [m]	2.8
線間 D_2 [m]	2.8
腕間 L_1 [m]	2.2
腕間 L_2 [m]	3.8
腕間 L_3 [m]	2.7
最大負荷時電流値 [A]	1230 (100%)
平日日中時電流値 [A]	740 (60%)
休日夜間時電流値 [A]	370 (30%)
碍子の個数	5 ~ 6

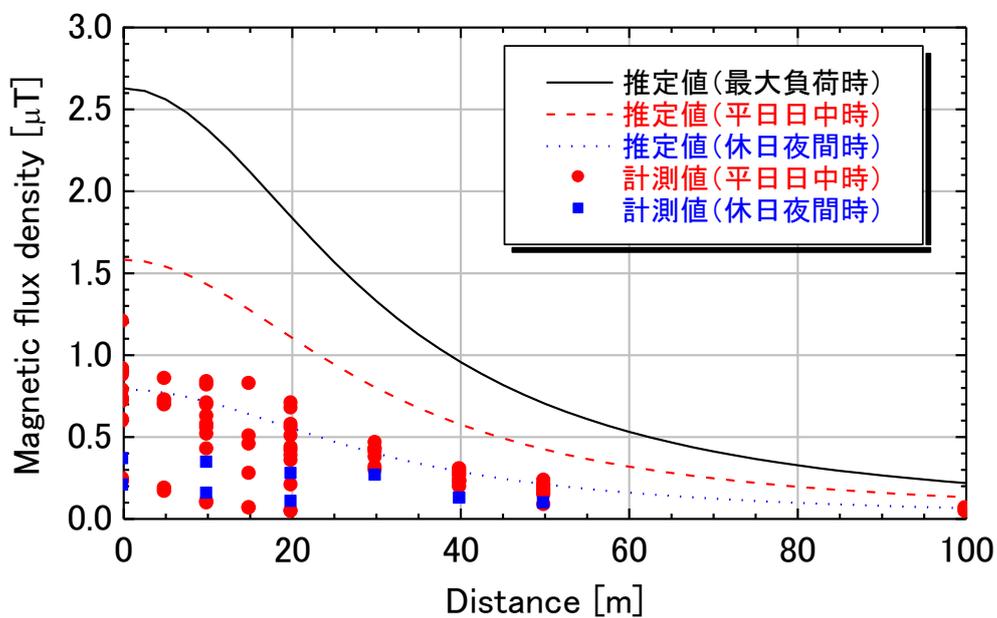
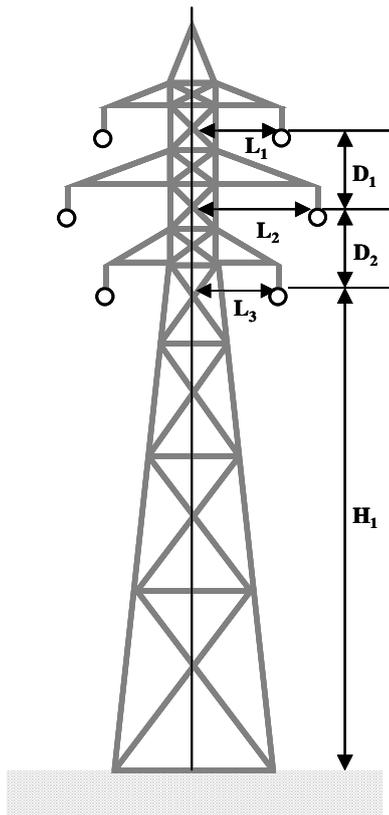


図 2.8(d): 66/77kV 送電線 (2 回線)



高さ H_1 [m]	31
線間 D_1 [m]	4.4
線間 D_2 [m]	3.7
腕間 L_1 [m]	3.8
腕間 L_2 [m]	5.5
腕間 L_3 [m]	4.3
最大負荷時電流値 [A]	1230 (100%)
平日日中時電流値 [A]	740 (60%)
休日夜間時電流値 [A]	370 (30%)
碍子の個数	10 ~ 12

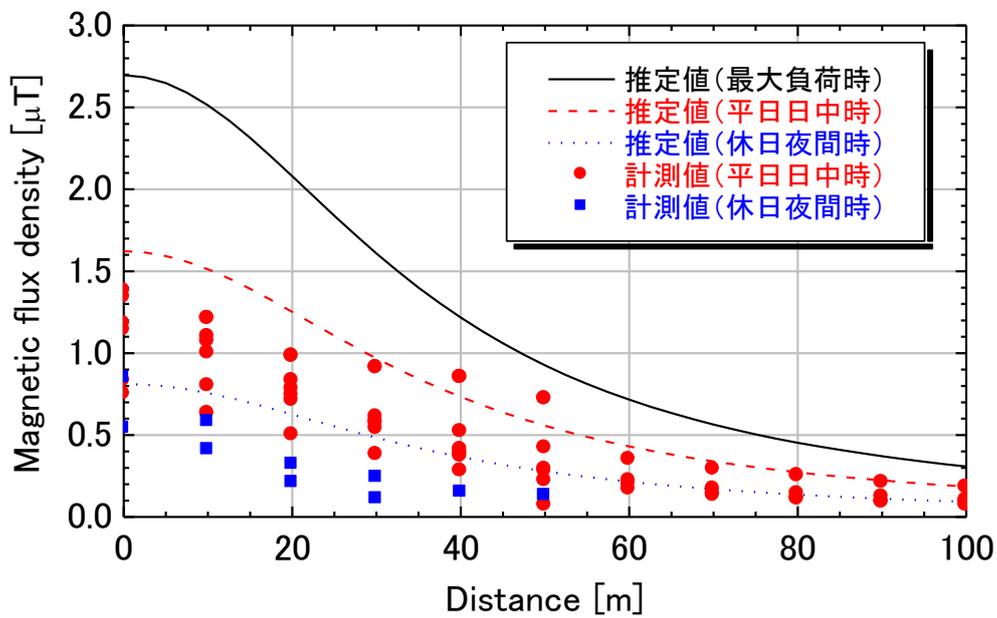
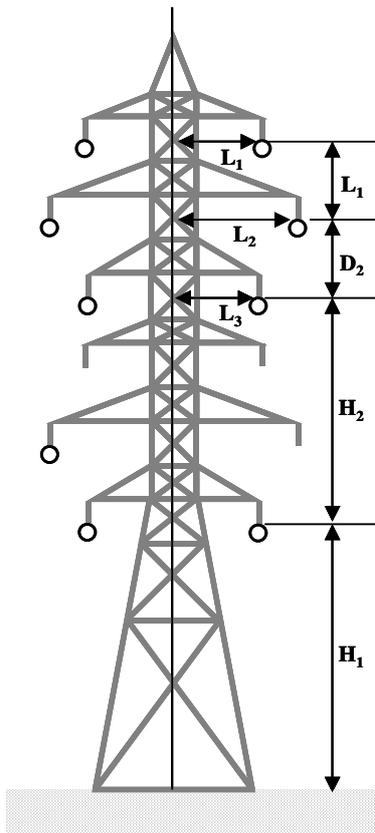


図 2.8(e) : 154kV 送電線 (2 回線)



高さ H_1 [m]	31
高さ H_2 [m]	12.7
線間 D_1 [m]	4.4
線間 D_2 [m]	3.7
腕間 L_1 [m]	3.8
腕間 L_2 [m]	5.5
腕間 L_3 [m]	4.3
最大負荷時電流値 [A]	1230 (100%)
平日日中時電流値 [A]	740 (60%)
休日夜間時電流値 [A]	370 (30%)
碍子の個数	10 ~ 12

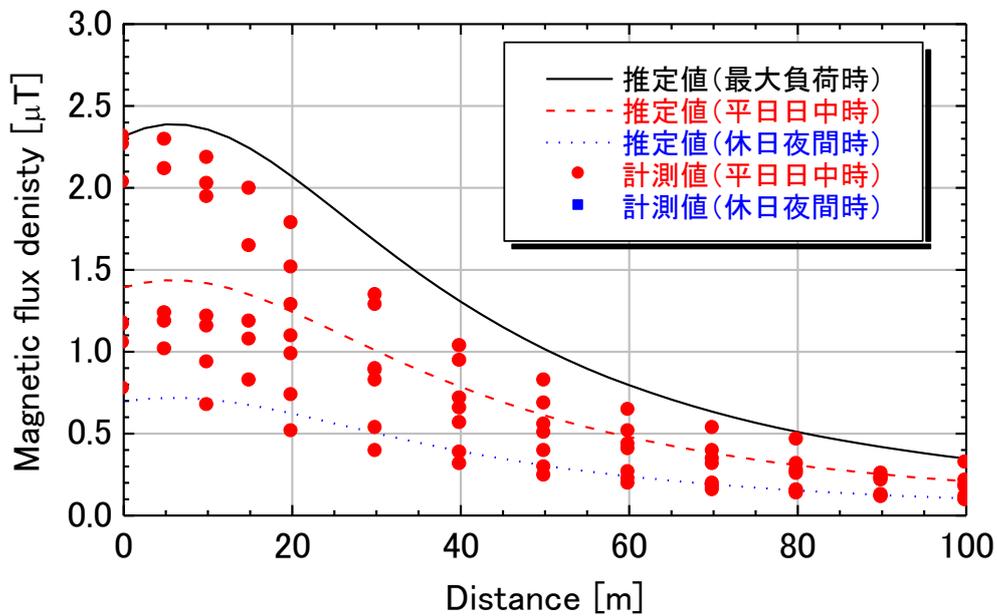
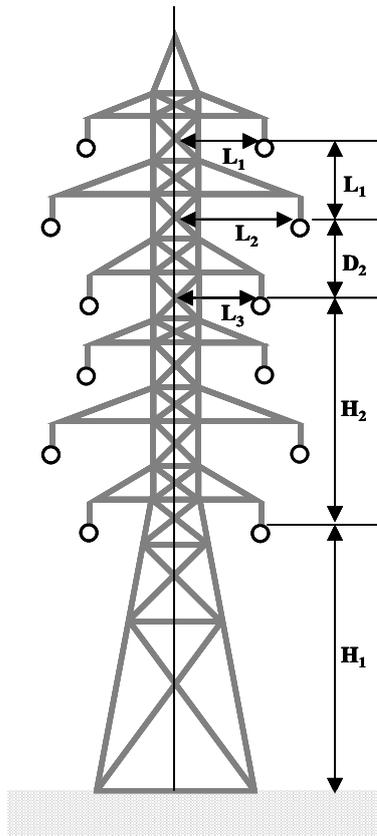


図 2.8(f) : 154kV 送電線 (3 回線)



高さ H_1 [m]	31
高さ H_2 [m]	12.7
線間 D_1 [m]	4.4
線間 D_2 [m]	3.7
腕間 L_1 [m]	3.8
腕間 L_2 [m]	5.5
腕間 L_3 [m]	4.3
最大負荷時電流値 [A]	1230 (100%)
平日日中時電流値 [A]	740 (60%)
休日夜間時電流値 [A]	370 (30%)
碍子の個数	10 ~ 12

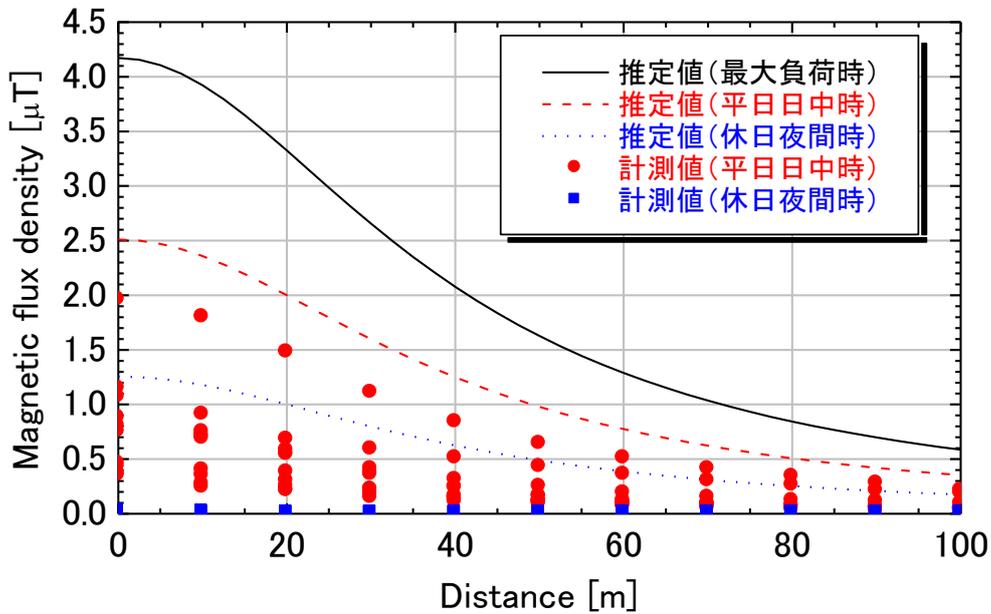
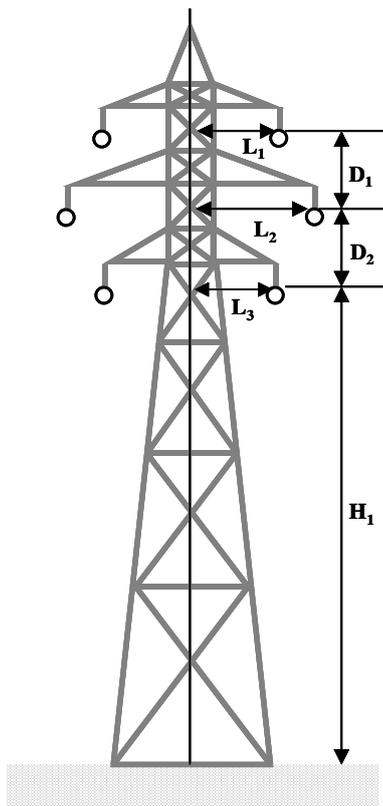


図 2.8(g) : 154kV 送電線 (4 回線)



高さ H_1 [m]	44
線間 D_1 [m]	8.0
線間 D_2 [m]	7.0
腕間 L_1 [m]	5.8
腕間 L_2 [m]	8.7
腕間 L_3 [m]	7.7
最大負荷時電流値 [A]	1230 (100%)
平日日中時電流値 [A]	740 (60%)
休日夜間時電流値 [A]	370 (30%)
碍子の個数	16 ~ 19

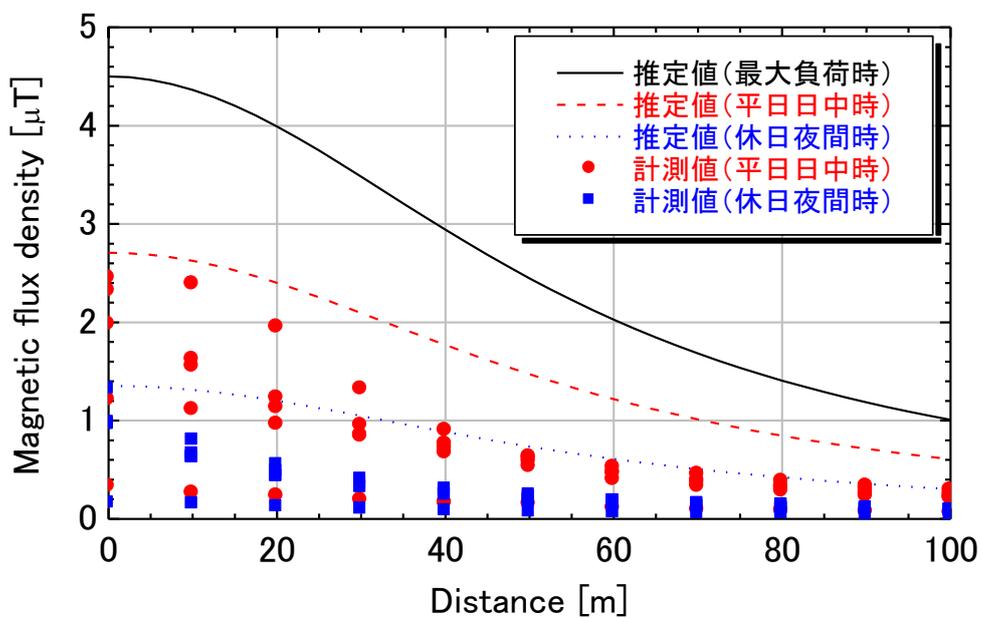
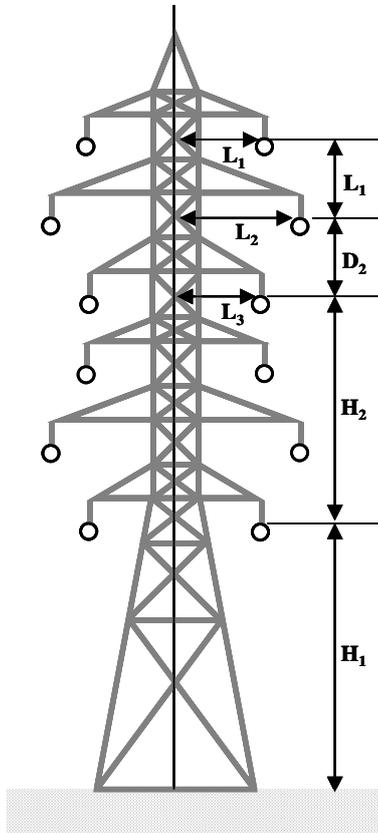


図 2.8 (h) : 275kV 送電線 (2 回線)



高さ H_1 [m]	44
高さ H_2 [m]	23
線間 D_1 [m]	8.0
線間 D_2 [m]	7.0
腕間 L_1 [m]	5.8
腕間 L_2 [m]	8.7
腕間 L_3 [m]	7.7
最大負荷時電流値 [A]	1230 (100%)
平日日中時電流値 [A]	740 (60%)
休日夜間時電流値 [A]	370 (30%)
碍子の個数	16 ~ 19

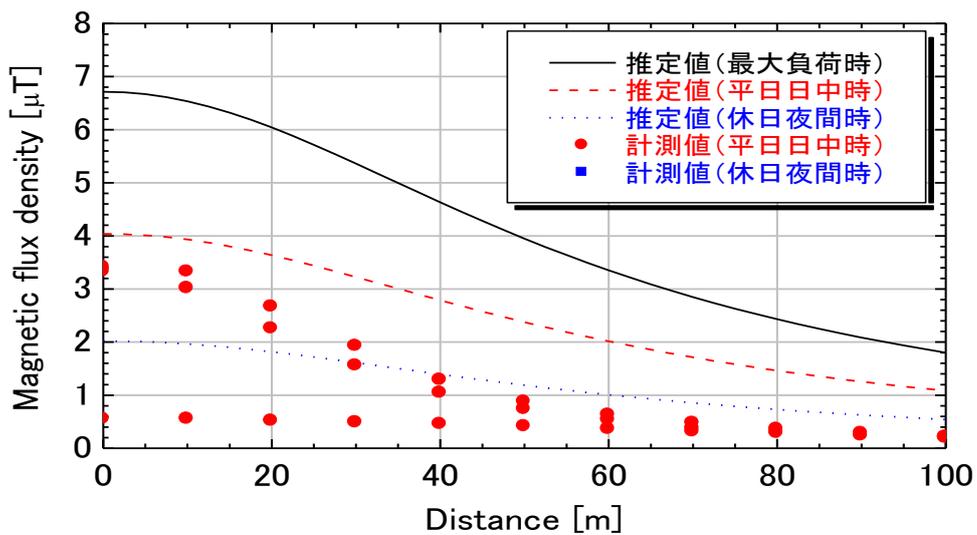


図 2.8(i) : 275kV 送電線 (4 回線)

3. 電磁界に関する新たな研究、国際機関および諸外国の動向等に関する調査

3.1 新たな研究のレビュー

3.1.1 超低周波電磁界

1) はじめに

電磁界による健康影響について、2000 年度報告書「電磁界の健康影響に関わる文献的検討」（日本環境協会）により、研究論文のレビューおよびメタアナリシスを行った結果をまとめた。さらに、1999～2001 年に報告された疫学研究及びレビューについては 2001 年度報告書「電磁界の健康影響に関わる最近の文献調査」（日本環境協会）にまとめた。本年度の文献調査研究では、それらの内容をふまえ、2001～2002 年に報告された疫学研究及びレビューの内容を検討し、現段階における超低周波（商用周波数中心）電磁界曝露による健康影響の因果関係についての判断に関する検討を試みた。

2) 方法

MEDLINE から、2001～2002 年に発表された、電磁界 (EMF : Electro Magnetic Field) による健康影響に関する論文⁽¹⁻¹⁶⁾を抽出した。抽出にあたっては、わが国からの本調査研究にあった疫学論文の発表はなく、また、多くの Peer Review がなされる一定レベルのジャーナルが英語での掲載を行っていることのほか、便宜上の理由により、英語により発表された論文のみを採用した。また 2001～2002 年に公表された、国際がん研究機関 (IARC : International Agency for Research on Cancer) による電磁界の発がん性に関するモノグラフ⁽¹⁷⁾と、国際非電離放射線防護委員会 (ICNIRP : International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) による電磁界と健康影響に関する疫学研究のレビュー⁽¹⁸⁾についても内容を検討した。この 2 つの報告は類似した内容であったため、合わせてまとめることとした。

論文の着目疾患別内訳は、全白血病に関する 4 本^(1, 2, 5, 11)、全脳腫瘍に関する 3 本^(2, 6, 16)、乳がんに関する 5 本^(3, 4, 7, 12, 15)、その他の健康影響に関する 6 本^(4, 8-10, 13, 14)であった（重複あり）。

論文の研究手法別内訳は、後ろ向きコホート研究が 4 本⁽¹⁻⁴⁾、症例対照研究が 9 本⁽⁵⁻¹³⁾、横断研究が 1 本⁽¹⁴⁾、記述疫学が 1 本⁽¹⁵⁾、レビューが 1 本⁽¹⁶⁾であった。

これらの論文については、著者、発表年、タイトル、着目疾患、研究方法について一覧にした（表 1）。また、掲載誌名・巻・号、研究目的、対象集団（対象論文）、電磁界の曝露評価、電磁界曝露との関連性、研究結果、および研究に対する評価・判断についてまとめた。

3) 全白血病および全脳腫瘍について

全白血病および全脳腫瘍に関する論文は6本抽出した。その研究方法別内訳（文献番号）では、後ろ向きコホート研究が2本(1, 2)、症例対照研究が3本(5, 6, 11)、レビューが1本(16)であった。以下に抽出した文献を列挙する。なお、以下の文中の引用文献番号は(表 3. 1)の記載に対応している。

1. Harrington JM et al. Leukaemia mortality in relation to magnetic field exposure: findings from a study of United Kingdom electricity generation and transmission workers, 1973-9. *Occup Environ Med* 2001 May;58(5):307-14
2. Minder CE et al. Leukemia, brain tumors, and exposure to extremely low frequency electromagnetic fields in Swiss railway employees. *Am J Epidemiol* 2001 May 1;153(9):825-35
5. Oppenheimer M et al. Adult onset acute myelogenous leukemia and electromagnetic fields in Los Angeles County: bed-heating and occupational exposures. *Bioelectromagnetics* 2002 Sep;23(6):411-5
6. Villeneuve PJ et al. Brain cancer and occupational exposure to magnetic fields among men: results from a Canadian population-based case-control study. *Int J Epidemiol* 2002 Feb;31(1):210-7
11. Bethwaite P et al. Acute leukemia in electrical workers: a New Zealand case-control study. *Cancer Causes Control* 2001 Oct;12(8):683-9
16. Kheifets LI. Electric and magnetic field exposure and brain cancer: a review. *Bioelectromagnetics* 2001;Suppl 5:S120-31

3)-1 全白血病についての研究

○ Harrington JM ら⁽¹⁾は、イングランドおよびウェールズの前中央電力庁の従業員 83,997 名を対象にした後ろ向きコホート研究を行い、全白血病のリスクと磁界の職業性曝露との関連性を調べた。その結果、全白血病の標準化死亡比は 84、全死因による標準化死亡比は 83 となり、全白血病のリスクと磁界との関連性はみられなかった。また白血病のサブタイプ（慢性リンパ性白血病、急性骨髄性白血病、慢性骨髄性白血病）別のリスクと、生涯における累積磁界曝露、または最近5年間に限定した磁界曝露との間においても、いずれも関連性はみられなかった。この研究では、労働経歴から判明した職種に基づいて曝露を評価しているが、同じ職種においても磁界曝露の実態は異なる場合も考えられ、曝露評価の誤分類の可能性が考えられる。また全死因での標準化死亡比が 83 と有意に低く、ヘルシーワーカーズイフェクトの存在を考慮する必要がある。

○ Minder CE ら⁽²⁾は、スイスの鉄道従業員 18,070 名を対象にして 270,155 人年におよぶ後ろ向きコホート研究を行い、全白血病のリスクと磁界の曝露との関連性を調べた。曝露評価については、磁界の累積曝露(μ T-year)と、 10μ T 以上の磁界に曝露された期間(year)の、2 種類を用いて全白血病の相対危険度を算出した。その結果、曝露が低い職種(駅員)の対象者と比較した、曝露が高い職種(運転士)の対象者における全白血病の相対危険度は 2.4(95%信頼区間 1.0~6.1)であり、リスクの増加が認められた。また磁界の累積曝露が 1μ T 増加する毎に白血病の死亡率が 0.9%(95%信頼区間 0.2~1.7) 有意に増加、 10μ T 以上の磁界曝露の期間が 1 年間長くなる毎に白血病の死亡率が 62%(95%信頼区間 15~129) 有意に増加する量反応関係を認めた。この研究では磁界曝露の実測方法よりその正確性は評価できる。しかし曝露期間については対象者の記憶によるため、バイアスが生じて過小評価される可能性が考えられる。また職場以外における曝露の影響等についての考察が十分にされていない。

○ Oppenheimer M ら⁽⁵⁾は、急性骨髄性白血病(AML)と診断された 726 名を症例とし、年齢(5 歳以内)、人種および性を一致させた同数を対照として、症例対照研究を行った。曝露の評価は、対象者本人および近接者にインタビューを行い、電気製品の使用頻度と、従事した職種について聴取した。その結果、電気毛布やベッドヒーティング等の電気製品の使用頻度の差と AML の発症との間には有意な関連性は認められなかった。また職種と AML の発症との間にも有意な関連性は認められなかった。この研究では電気製品の使用頻度や職種に注目されているが、それぞれにおける曝露の実態は測定されていないため、曝露の評価を明確にすることが望まれる。また重症である場合等において対象者本人にインタビューできない際には近接者のみから曝露に関する情報を得ていることも、バイアスを生じる原因になると考えられる。

○ Bethwaite P ら⁽¹¹⁾は、急性白血病と診断された 110 名を症例、一般住民から選択した 199 名を対照として、症例対照研究を行った。対象者は、1 つ以上の「電気に関する職業」に従事した電気群と、1 つも従事していない非電気群に分類し、電気群ではジョブエクスポージャーマトリクスを用いて職種毎の曝露評価を行った。電気群の、非電気群に対する急性白血病のオッズ比は 1.88(95%信頼区間 1.0~3.8)であった。職種別の分析では、溶接工におけるオッズ比が 2.79(95%信頼区間 1.2~6.8)、電話線の作業員におけるオッズ比が 5.81(95%信頼区間 1.2~27.8)であり、有意な増加を認めた。また磁界曝露の増加とともに、急性白血病のリスクも増加する量反応関係を認めた。しかしこの研究では、症例と対照とのマッチングが行われていない等、結果に影響を与える交絡因子の調整が十分にされていない。症例の 110 名の中の 21 名は対象者本人からの情報の聴取ができなかったことも、バイアスを生じる原因となりうると考えられる。

3)-2 全脳腫瘍についての研究

○ Minder CE ら⁽²⁾は、スイスの鉄道従業員 18,070 名を対象にして 270,155 人年におよぼ後ろ向きコホート研究を行い、全脳腫瘍のリスクと磁界の曝露との関連性を調べた。曝露評価については、磁界の累積曝露($\mu\text{T}\cdot\text{year}$)と、 $10\mu\text{T}$ 以上の磁界に曝露された期間(year)の、2種類を用いて全脳腫瘍の相対危険度を算出した。その結果、曝露が低い職種(駅員)の対象者と比較した、曝露が高い職種(運転士)の対象者における全脳腫瘍の相対危険度は 5.1(95%信頼区間 1.2~21.2)であり、リスクの増加が認められた。しかし、磁界曝露と全脳腫瘍のリスクとの量反応関係は認められなかった。この研究では、全白血病の際と同様に、磁界曝露の実測方法よりその正確性は評価できる。しかし曝露期間については対象者の記憶によるため、バイアスが生じて過小評価される可能性が考えられる。また職場以外における曝露の影響等についての考察が十分にされていない。

○ Villeneuve PJ ら⁽⁶⁾は、脳腫瘍と診断された 543 名を症例とし、年齢(1歳以内)および性を一致させた同数を対照として、症例対照研究を行った。曝露評価は、質問紙を使用して従事した職種を調べ、専門家のレビューにより平均磁界曝露が $0.3\mu\text{T}$ 未満、 $0.3\mu\text{T}\sim 0.6\mu\text{T}$ 未満、 $0.6\mu\text{T}$ 以上の3段階に分類された。結果では、平均磁界曝露が $0.6\mu\text{T}$ 以上の職種に従事した男性は、 $0.3\mu\text{T}$ 以下の職種と比較して、全脳腫瘍のオッズ比は 1.33(95%信頼区間 0.75~2.36)と有意差はみられなかった。脳腫瘍のサブタイプ別の分類では、多形神経膠芽腫のオッズ比は 5.36(95%信頼区間 1.16~24.78)と有意な増加を認めたが、星状膠細胞腫および他の脳腫瘍との関連性は認められなかった。この研究では、職場以外の環境による曝露について評価に含まれていないことから、バイアスが生じる原因となる。また脳腫瘍の進行速度が特に速い例や重症例では質問紙に回答することが困難な事例も予想されるが、その様な症例が除外されることでもバイアスが生じる可能性がある。

○ Kheifets LI⁽¹⁶⁾は、住居および職業性の電磁界の曝露と、小児および成人の脳腫瘍との関連性を調べた主要な研究論文を対象としてレビューした。これまでの疫学研究では、曝露の評価について、ワイヤーコード、曝露源からの距離、曝露レベルの実測、曝露レベルの計算、電気製品の使用の有無等の様々な方法が用いられてきたが、いずれの曝露の評価方法においても、脳腫瘍のリスクが増加するとした結論は確立されていない。また最近の研究においては、関連性を示唆した論文もほとんどない。

4) 全白血病および全脳腫瘍以外の健康影響について

全白血病および全脳腫瘍以外の健康影響に関する文献は 10 本抽出した。その研究方法別内訳(文献番号)では、後ろ向きコホート研究が 2 本(3, 4)、症例対照研究が 6 本(7-10, 12, 13)、横断研究が 1 本(14)、記述疫学が 1 本(15)であった。以下に抽出した文献を列挙する。なお、以下の文中の引用文献番号は表 3. 1 の記載に対応している。

3. Pollan M et al. Breast cancer, occupation, and exposure to electromagnetic fields among Swedish men. *Am J Ind Med* 2001 Mar;39(3):276-85
4. Reynolds P et al. Cancer incidence in California flight attendants (United States). *Cancer Causes Control* 2002 May;13(4):317-24
7. Davis S et al. Residential magnetic fields and the risk of breast cancer. *Am J Epidemiol* 2002 Mar 1;155(5):446-54
8. Noonan CW et al. Occupational exposure to magnetic fields in case-referent studies of neurodegenerative diseases. *Scand J Work Environ Health* 2002 Feb;28(1):42-8
9. Li CY et al. Risk of cognitive impairment in relation to elevated exposure to electromagnetic fields. *J Occup Environ Med* 2002 Jan;44(1):66-72
10. De Roos AJ et al. Parental occupational exposures to electromagnetic fields and radiation and the incidence of neuroblastoma in offspring. *Epidemiology* 2001 Sep;12(5):508-17
12. Van Wijngaarden E et al. Population-based case-control study of occupational exposure to electromagnetic fields and breast cancer. *Ann Epidemiol* 2001 Jul;11(5):297-303
13. Fabbro-Peray P et al. Environmental risk factors for non-Hodgkin's lymphoma: a population-based case-control study in Languedoc-Roussillon, France. *Cancer Causes Control* 2001 Apr;12(3):201-12
14. Blaasaas KG et al. Risk of birth defects by parental occupational exposure to 50 Hz electromagnetic fields: a population based study. *Occup Environ Med* 2002 Feb;59(2):92-7
15. McCurdy AL et al. Exposure to extremely low frequency magnetic fields among working women and homemakers. *Ann Occup Hyg* 2001 Nov;45(8):643-50

4)-1 乳がんについての研究

○ Pollan M ら⁽³⁾は、男性の乳がんと磁界曝露との関連性について、後ろ向きコホート研究を行った。曝露レベルの幾何平均値が全体の下位 4 分の 1 ($0.12 \mu\text{T}$) より高い群の、低い群と比較した男性乳がんの相対危険度は 1.31 (95%信頼区間 0.94~1.81) であり、有意な増加は認められなかった。また対象者全体において、曝露レベルとリスクの増加との傾向の関連性もみられなかった ($p=0.625$)。そのため結論として、男性の乳がんの発生に関して、超低周波磁界が影響するという明らかな証拠は得られなかった。

○ Reynolds P ら⁽⁴⁾は、航空機の客室乗務員を対象にした後ろ向きコホート研究により、電磁界の職業性曝露と様々ながんの発生との関連性を調べた。女性における全がんの標準化罹患比が 1.05 (95%信頼区間 0.86~1.27) であるのに対し、乳がんの標準化罹患比は 1.42 (95%信頼区間 1.09~1.83) と有意に高い結果が得られた。しかしこの研究では、電磁界以外にも客席乗務員が曝露すると考えられる宇宙線や化学物質等の影響について考慮されていないので、乳がんのリスクの増加を電磁界曝露の影響とするとしての評価を与えるは難しいと考えられる。

○ Davis S ら⁽⁷⁾は、乳がんと診断された 813 名を症例とし、5 歳毎に分類した年齢をマッチさせて選択した 793 名を対照として、症例対照研究を行った。その結果、住居での磁界測定結果、ワイヤーコードによる分類、および電気製品の使用状況の差と乳がんのリスクの増加とは、いずれも関連性を認めなかった。

○ Van Wijngaarden E ら⁽¹²⁾は、乳がんと診断された 843 名を症例とし、年齢(5 歳以内)、および人種をマッチさせて選択した 773 名を対照として、症例対照研究を行った。職場における磁界曝露レベルを測定し、累積磁界曝露を計算して乳がんのリスクとの関連性を調べたが、職業性電磁界曝露が乳がんの原因になることを示す結果は得られなかった。

○ McCurdy AL ら⁽¹⁵⁾は、273 名の女性(勤労者 133 名、主婦 69 名)を対象者として、教師、看護師、オフィス労働者、コンピュータープログラマー、工場労働者、およびその他の職種における職場(勤労者)と住居(主婦)における磁界曝露レベルを測定したが、曝露レベルの有意な差は認められなかった。そのため、これらの職種において磁界曝露により乳がんのリスクが増加することを示す結果は得られなかった。

4)-2 その他の悪性疾患についての研究

○ Reynolds P ら⁽⁴⁾は、航空機の客室乗務員を対象にした後ろ向きコホート研究により、電磁界の職業性曝露と様々ながんの発生との関連性を調べた。女性における全がんの標準化罹患比が 1.05 (95%信頼区間 0.86~1.27) であるのに対し、悪性黒色腫の標準化罹患比は 2.50 (95%信頼区間 1.28~4.38) と有意に高い結果が得られた。また男性における全がんの標準化罹患比が 2.43 (95%信頼区間 1.57~3.58) であるのに対し、カポジ肉腫の標準化罹患比は 9.29 (95%信頼区間 5.18~15.36) と有意に高い結果が得られた。しかしこの研究では、宇宙線や化学物質等の、電磁界以外にリスクを増加させる要因について分析の際に十分に考慮されていないので、がんのリスクの増加を電磁界曝露の影響としての評価することは難しいと考えられる。

○ De Roos AJ ら⁽¹⁰⁾は、神経芽細胞腫と診断された 538 名の小児の両親を症例とし、年齢と性をマッチさせた 504 名の両親を対照として、症例対照研究を行った。父親と母親に分類し、それぞれの職業性曝露を超低周波電磁界、

高周波放射線、およびイオン化放射線の曝露に分類して関連性を調べたが、いずれも小児の神経芽細胞腫のリスクの増加との関連性は認められなかった。

○ Fabbro-Peray P ら⁽¹³⁾は、非ホジキンリンパ腫(NHL)と診断された 445 名を症例とし、1,963 名を対照として、症例対照研究を行った。対象者にはインタビューを行い、これまでに従事した職種に関して聴取された。その結果、毎日の溶接作業(オッズ比 2.5、95%信頼区間 1.2-5.0)、および通信士(オッズ比 3.1、95%信頼区間 1.4-6.6)について、NHL との有意な関連性を認めた。しかしながら、この研究では対照を選択時に症例とのマッチングを行っていないため選択バイアスの存在と、職種の聴取のみで曝露評価を行っているため誤分類の存在が考えられるが、十分に考慮されていないため明らかな関連性を認めることができるとは言い難い。

4)-3 その他の健康影響についての研究

○ Noonan CW ら⁽⁸⁾は、アルツハイマー病、筋萎縮性側索硬化症、およびパーキンソン病と、職業性の磁界曝露との関連性を調べた。その結果、筋萎縮性側索硬化症およびパーキンソン病と磁界曝露については有意な関連性を認めた。アルツハイマー病については、職業性磁界曝露との関連性は認めなかった。しかし、この研究での曝露評価は職種によって分類されていて曝露レベルの実測を行っていないため、誤分類の存在が考えられる。また居住地区や住居等の職場以外における磁界の曝露も考慮される必要がある。

○ Li CY ら⁽⁹⁾は、認識障害(アルツハイマー病や痴呆症を想定)を認めた 290 名を症例とし、年齢と性を一致させて選択した 580 名を対照とし、症例対照研究を行った。その結果、電磁場曝露と認識障害のリスクとの間に有意な関連性は認められなかった。

○ Blaasaas KG ら⁽¹⁴⁾は、1967~1995 年の期間でのノルウェーにおける出生数 160 万人の中で、母親の職業性磁界曝露に関する情報が得られた 836,475 名、父親の職業性磁界曝露に関する情報が得られた 1,290,298 名を対象者とし、職業性曝露と先天異常との関連性を調べた。先天異常全体では、母親および父親の磁界曝露との関連性は認められなかった。カテゴリー毎の比較では、母親の磁界曝露は二分脊椎(p=0.04)および内反足(p=0.04)のリスクとの関連性が認められた。父親の磁界曝露は、無脳症(p=0.01)および「その他の先天性異常」というカテゴリー(p=0.02)のリスクの増加が認められた。この研究では、有意な関連性を認めたカテゴリーではサンプル数が小さいことや、他に先天異常を引き起こす可能性のある原因について十分に考察されていない。

5) IARC および ICNIRP による報告のまとめ

IARC では、2002 年に静電界、静磁界、および超低周波電磁界による発がん

性についての見解をモノグラフとしてまとめて公表した⁽¹⁷⁾。また ICNIRP では 2001 年に、疫学常任委員会によるレビューを「電磁界による健康影響に関する疫学研究のレビュー」として論文発表した⁽¹⁸⁾。この 2 つの内容は類似しているため、本報告では 1 つに合わせて要約した。以下に抽出した文献を列挙する。

17. 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

18. Ahlbom IC et al.; ICNIRP Standing Committee on Epidemiology. Review of the epidemiologic literature on EMF and Health. Environ Health Perspect 2001 Dec; 109 Suppl 6: 911-33

6) まとめ

6)-1 全白血病について

小児の白血病については、これまでに多数の幅広いレビュー、メタアナリシス、および最近の 2 つのプールドアナリシスが報告されている。1 つのプールドアナリシスでは 9 つの論文を基に分析され、 $0.4 \mu\text{T}$ 未満の超低周波磁界に曝露されることによりリスクは増加しないが、 $0.4 \mu\text{T}$ を上回る超低周波磁界の曝露される場合にはリスクは 2 倍になると報告している。もう 1 つのプールドアナリシスでは 15 の論文を基に分析され、 $0.3 \mu\text{T}$ の超低周波磁界曝露をカットポイントとして、それを上回る場合の相対危険度が 1.7 と報告している。この 2 つのプールドアナリシスはほぼ一致した結果を示している。しかし超低周波磁界の研究結果とは対照的に、超低周波電界と小児白血病との関連性は示されていない。

電磁界の曝露による成人の白血病の相対危険度について、これまでの疫学研究の結果では、まったく影響しないとしたものから、高い曝露群において相対危険度が 2.0 を上回るとしたもので様々であり、一貫した傾向が認められていない。多くの研究結果を収集してそれぞれの違いを調整して再評価した結果では、より高い曝露群における相対危険度は 1.1~1.3 となった。そのため電磁界と成人の白血病との関連性は明らかにはされていない。

6)-2 全脳腫瘍について

電磁界の曝露と脳腫瘍との関連性については、成人の白血病と同様の結果である。これまでの多くの疫学研究では職業性曝露に関するものが主であり、まったく関連性がないとしたものから強い関連性を認めたもので様々であった。しかし多くの研究結果を収集してそれぞれの違いを調整して再評価した結果では、相対危険度は 1.1~1.3 となり明らかな因果関係を示すには至らなかった。

6)-3 その他のがんについて

これまでに、電磁界の曝露と乳がん、肺がん、非ホジキンリンパ腫、および大腸がんとの関連性を示した研究結果が報告されているが、いずれも一貫した結論が見出されていない。また電磁界の曝露について関連性の評価を行うのに十分なデータ数がないため、今後さらなる疫学研究が実施されることが望ましい。

6)-4 その他の健康影響について

これまでに、免疫学および血液学上の健康影響、メラトニン分泌の抑制、神経変性疾患、うつ病、自殺、および心臓疾患の発生との関連性について調べた研究が報告されているが、いずれも確立した結果が得られていない。

6)-5 評価

超低周波磁界の曝露による発がん性について、小児白血病に関しては限定された根拠が示されている。

超低周波磁界の曝露による発がん性について、その他のがんについては根拠が十分示されていない。

静電界、静磁界、および超低周波電界の曝露による発がん性については、すべてのがんについて根拠が十分示されていない。

6)-6 総合評価

超低周波磁界の曝露は、発がん性があるかもしれない（グループ 2B）。

6)-7 考察

今回レビューした文献は、これまでにまとめた文献レビュー以降に、新たに報告されたものを主体とした。報告内容は前年度までの報告書と同様に、電磁界における健康影響があるとする論文と、否定的な論文の双方があった。IARC より小児白血病に関しては超低周波磁界との関連性について限定された根拠があるとされたものの、成人の白血病や全脳腫瘍を含む大部分のその他の健康影響については明確な証拠があると示されず、また健康影響はないとする確証もないという現状である。

全白血病および全脳腫瘍と電磁界曝露との関連性については、これまでに疫学研究の精度が改善してきており、研究の規模と方法については、現実として達成可能であろう限界に近づきつつあると考えられる。しかしながら、曝露評価や選択バイアスの存在については、いくつかの点により改善が難しい要因である。今後の研究では、曝露評価や選択バイアスに関して特定の仮説を調査するようなデザインを行うことが必要とされる。

また乳がんや神経変性疾患等の、全白血病および全脳腫瘍以外の健康影響と

電磁界曝露との関連性については、評価を行うに足る研究結果が不十分なため、近年行われている研究成果の報告を待ち、一定の精度を持った研究論文を整理し、メタアナリシス等を行う評価を今後も実施する必要があると考えられる。

表 3. 1 検討対象とした論文概要

文献番号	著者	発表年	タイトル	着目疾患	研究方法
1	Harrington JM et al	2001	Leukaemia mortality in relation to magnetic field exposure: findings from a study of United Kingdom electricity generation and transmission workers, 1973-97	慢性リンパ性白血病、急性骨髄性白血病、慢性骨髄性白血病、全白血病	後ろ向きコホート研究
2	Minder CE et al	2001	Leukemia, brain tumors, and exposure to extremely low frequency electromagnetic fields in Swiss railway employees	全白血病、全脳腫瘍	後ろ向きコホート研究
3	Pollan M et al	2002	Breast cancer, occupation, and exposure to electromagnetic fields among Swedish men	男性乳がん	後ろ向きコホート研究
4	Reynolds P et al	2002	Cancer incidence in California flight attendants (United States)	全がん	後ろ向きコホート研究
5	Oppenheimer M et al	2002	Adult onset acute myelogenous leukemia and electromagnetic fields in Los Angeles County: bed-heating and occupational exposures	急性骨髄性白血病	症例対照研究
6	Villeneuve PJ et al	2002	Brain cancer and occupational exposure to magnetic fields among men: results from a Canadian population-based case-control study	星状膠細胞腫、多形神経膠芽腫、その他の脳腫瘍、全脳腫瘍	症例対照研究
7	Davis S et al	2002	Residential magnetic fields and the risk of breast cancer	乳がん	症例対照研究
8	Noonan CW et al	2002	Occupational exposure to magnetic fields in case-referent studies of neurodegenerative diseases	神経変性疾患 (アルツハイマー病、筋萎縮側索硬化症、パーキンソン病)	症例対照研究
9	Li CY et al	2002	Risk of cognitive impairment in relation to elevated exposure to electromagnetic fields	認識障害 (アルツハイマー病および痴呆症を想定)	症例対照研究
10	De Roos AJ et al	2001	Parental occupational exposures to electromagnetic fields and radiation and the incidence of neuroblastoma in offspring	神経芽細胞腫	症例対照研究
11	Bethwaite P et al	2001	Acute leukemia in electrical workers: a New Zealand case-control study	急性白血病	症例対照研究
12	Van Wijngaarden E et al	2001	Population-based case-control study of occupational exposure to electromagnetic fields and breast cancer	乳がん	症例対照研究
13	Fabbro-Peray P et al	2001	Environmental risk factors for non-Hodgkin's lymphoma: a population-based case-control study in Languedoc-Roussillon, France	非ホジキンリンパ腫	症例対照研究
14	Blaasaas KG et al	2002	Risk of birth defects by parental occupational exposure to 50 Hz electromagnetic fields: a population based study	先天性異常 (二分脊椎、内反足、口蓋裂、無脳症等の24カテゴリー)	横断研究
15	McCurdy AL et al	2001	Exposure to extremely low frequency magnetic fields among working women and homemakers	乳がん	記述疫学
16	Kheifets LI.	2001	Electric and magnetic field exposure and brain cancer: a review	全脳腫瘍 (小児および成人)	レビュー

3.1.2 高周波電磁界

1) はじめに

1907年のド・フォレストによる3極真空管（オーディオン）の発明によって強力な電波を発生させることができるようになった。医学者がこのエネルギーに着目し、人体のさまざまな部位に強い電波を照射して治療効果を得ようとする試みがなされた。このジアテルミー療法の副作用による事故の報告により、過度の高周波曝露が健康に悪影響を与えることを明らかになった。このようにして高周波電磁界の生体影響が最初に認識されたのは1930年代である。

1960年頃からは軍用のマイクロ波利用の安全性を確立する必要があったため米軍の研究機関を中心に多くの研究がおこなわれた。このころから、多くの研究が行われてきた。当時から、弱い電磁界による非熱作用の可能性も論じられていた。このように高周波電磁界の生体影響に関する研究の歴史は長く、蓄積された知識は少なくない。

高周波電磁界による生体影響の知識は、その後、電磁界と人体のインタラクションについての研究の進歩とともに精密化されながら確立されてきた。電磁界の生体作用には、不明な点が強調されることがあるが、多数の解析や実験結果は、少なくとも短期的な(数日程度までの)作用としては、熱作用を考えればよいことを示している。またそれ以上長時間の作用についても、これまでの研究によれば、別の現象が著しく現れることないと考えられている。

1970年代以降の重要な進歩は、電磁界と人体のインタラクションを定量的に調べる「電磁界ドシメトリ」と呼ばれる分野の研究である。電磁界ドシメトリによって生体が電磁界に曝露されたときの条件を定量的に把握することが、実験の精度と再現性を高めた。

近年の携帯電話の爆発的な普及により、高周波電磁界の健康影響に対する関心が非常に高まった。現在、携帯電話の高周波電磁界による健康影響の可能性について、多くの研究が進められている。過年度の報告では、携帯電話による健康影響、中間周波とミリ波の影響についての研究動向が報告された。本報告では、再び携帯電話に関する高周波の生体影響の研究について、最近の動向を中心に報告する。

ここで注目しなければならないのは、携帯電話や放送波による健康影響を示唆する研究は、それを否定する研究に比べてはるかに少なく、また報告されている影響を示唆する現象の追試・再現を試みた多くの研究が再現しないことを示しているにもかかわらず、携帯電話の健康影響についての結論が明らかになるよりむしろいっそう混乱している場合が少なくないことである。このような論争の対象になっている問題を中心にここでは報告する。

2) 疫学

2)-1 通信・放送局からの曝露の影響

Hocking ら (1996) はシドニー北部における小児白血病のリスクがテレビ放送タワーとの近接度と関連すると報告した。この研究では、TV 放送塔を取り囲む 3 つの自治体地区とその外側の自治体地区の住民について脳腫瘍、全白血病、リンパ性白血病、骨髄性白血病、その他の白血病などの発生率、死亡率を集団比較した。観察年、年齢、性別の影響を調整して、最終的に地域の違いによる率比を推定した結果、全白血病発生率の率比は若干の増加があった。同様の分析を小児について行った結果、全白血病およびリンパ性白血病の発生率、死亡率の率比は有意な増加があった (全白血病発生率 RR=1.58)。

これらの地域を含む州全体での小児の脳腫瘍と白血病について、調査期間 19 年間の各年別、性、年齢別の発生率、死亡率から求めた両地域での発生、死亡の期待数と実際の観測数との比 (標準化発生比 SIR、標準化死亡比 SMR) を調べた結果、脳腫瘍には州全体との違いはなかったが、白血病の発生、死亡は州全体と較べて TV 放送塔周辺自治体で高かった (SIR=1.8, SMR=2.4)。曝露評価として、TV 放送塔周辺自治体地区の住民の曝露量は $0.0002-0.008\text{mW}/\text{cm}^2$ と推定した。

この報告の後、McKenzie ら (1998) は Hocking らの研究を再検討するため、同一地域で同一期間を対象に再調査を行った。その結果、タワーを囲む 3 つの自治体のうち、一つ地区 (レーンコーブ) で小児白血病発生率が特異的に高いが、他の地区では増加がなく、レーンコーブを除外すればテレビタワーと白血病発生との相関は消失することを指摘した。また小児白血病発生率と高周波曝露量との有意な相関はないと指摘した。また、Hocking らの報告した小児白血病の SIR が、高出力の 24 時間 TV 放送が開始される以前の発生が多く含まれることを指摘した。

この報告に対して、Hocking (1999) は、McKenzie の論文は事後分析であり、科学的に正当でない、レーンコーブの役割が特異的であるとしているが、モデルは適切であり、レーンコーブが他の地区に対して特異的ではない、24 時間放送が開始される 4 年前から 18 時間放送が始まっており、高周波曝露量との相関は否定されない、と反論した。この研究については、さらに McKenzie らの再反論、Hocking (2000) による追加報告と継続している。

放送局に近接した地域に関しては、Dolk ら (1997a) は英国のサットン・コールドフィールドにある高出力 FM/TV 放送アンテナ付近で、アンテナからの距離で地域を分類すると、全白血病の発生比が 0-2km 地域では有意に高く (1.83)、0-10km 地域では 1.01 となり、距離による有意なリスク低下の傾向を報告した。しかし英国内の高出力 FM/TV 放送アンテナ 20 施設について同様の調査を行ったところ (Dolk 1997b)、成人の全白血病の発生比は、0-2km 地域で 0.97、0-10km で 1.03 であり、距離によるリスク低下はかろうじて有意であるものの距離別地域に細分化したデータでは個々の地域で大きな過剰リスクはみられず、距離に

よる変化も一貫しなかった。成人の白血病の病型別に20施設のデータを総合した場合、いずれの病型の白血病も距離によるリスク低下の傾向は有意ではなかった。距離別地域に細分化したデータでは、2-4.9km 地域にわずかなリスク上昇が見られた病型があったが、有意性に関するデータは示されなかった。

放送施設周辺でのこれらの研究は、対象地域の選択によって結果が異なる傾向を共通して示している。特定の地区で観察された、一貫性のない疾病のリスク増加が放送用タワーからの電磁波によるものであると推定するには十分なデータとはいえない。しかし、放送施設に関するこれらの研究によって、高周波の送信タワーに対する不安を喚起した。携帯電話の急速な広がりによって、基地局が次々に建設されていることにより、携帯電話基地局タワーからの電磁波に対して健康不安が生じている。しかし、携帯電話基地局からの電磁波を対象とした疫学研究は実施されていない。その理由の一つは曝露レベルが非常に小さく、曝露評価がほとんど不可能であると考えられていることがある。欧州共同研究プログラムとして電磁界の健康影響の研究を組織的に実施している COST 281 計画では、携帯電話基地局からの電磁波に関する疫学研究を実施しても十分な結果が期待できないとの声明を述べている (COST281 2002)。

このような情勢の中で、英国の厚生省が主宰する MTHR (Mobile Telecommunications and Health Research) プログラムでは2003年4月から携帯電話基地局周辺住民の健康についての症例-対照研究を開始される。

文献

- Hocking B et al. : Cancer incidence and mortality and proximity to TV towers. Med J Austral 165:601-605, 1996.
- McKenzie DR et al. : Childhood incidence of acute lymphoblastic leukemia and exposure to broadcast radiation in Sydney -- a second look. Aust New Zealand J Public Health 22:360-367, 1998.
- Hocking B, Gordon I, Hatfield GE. Childhood leuchemia and TV towers re-visited. Aust NZ J Public Health 1999; 23:104-105.
- Hocking B et al. Letter to the editor: TV tower and chilhood leuchemia (continued). Australian and New Zealand Journal of Public Health, 24; No. 2 (2000).
- H Dolk et al: Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain I. Sutton Coldfield Transmitter. Amer J Epidem 145:1-9, 1997a.
- H Dolk et al: Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. II. All high power transmitters. Amer J Epidem 145:10-17, 1997b.

COST Action 281: Scientific Comment on Epidemiologic Studies on Health
Impact of Mobile Communications Basestations, 2002
<http://www.cost281.org/activities/comment-epi-basestations.pdf>

2)-2 携帯電話機による曝露の影響

携帯電話機の高周波出力電力は小さく（日本のデジタル方式の電話機では最大平均電力が 270mW）、さらに基地局との距離に応じて必要最小限の出力で通信するように制御されている。このため、人体の曝露は全身では微弱である。一方、人体頭部の直近で使用されるために、アンテナに近い部位のみについては、人体への局所曝露に関するガイドラインに近いレベルの曝露となる。このことから、アンテナ付近に位置する脳への影響、特に脳腫瘍との関連性に関心がもたれている。

携帯電話使用者についての疫学研究は、1995 年前後から始められた。携帯電話の形態、方式に変化があり、現在のように普及する以前の使用者はそれほど多くないこと、がん等の遅発性の疾病に対して疫学調査を行うには曝露期間が短いという限界がある。それでも、これまでいくつかの研究が報告されている。

Muscat らは 469 人の脳腫瘍の症例（年齢は 18–80 歳）とマッチされた対照 422 人に対して調査を行った (Muscat 2000)。その結果として、症例の 14%、対照の 18%が携帯電話を使用していた。分析の結果、使用経験 (OR 0.9)、使用年数 (OR 0.7)、使用時間 (OR 0.7)、使用側と腫瘍の位置 (OR 0.9) のいずれも脳腫瘍と携帯電話使用についての関連は見られなかった。Muscat (2002) はその後、聴神経腫 90 症例 (対照 86) についても報告し、携帯電話の日常的使用との関連性を見出さなかった (OR 0.9)。Muscat の 2 つの研究は病院対照が採用されている。

Inskip (2001) の研究では、脳腫瘍の症例 782 (神経膠腫 489 例、髄膜腫 197 例、聴神経腫 96 例)、対照 799 に対して、使用経験 (OR 0.9)、日常的使用 (OR 0.9)、使用時間 (OR 0.7) に携帯電話の使用との関連性は見られなかった。この研究でも病院対照が用いられている。症例数は多いが、使用期間が短いことが限界となっている。Auvinen ら (2002) は、フィンランドにおける 398 症例の脳腫瘍、34 症例の唾液腺がん、各症例に対し 5 例の対照について、携帯電話の使用との関連性を調査した。その結果、脳腫瘍 (神経膠腫と髄膜腫 OR 1.3)、唾液腺がん (OR 1.3) で、携帯電話の使用との有意な関連性は見られなかった。

Johansen ら (2001) はデンマークの 420095 人の携帯電話契約者を対象にがんの発症数についてのコホート研究を報告した。その結果、脳腫瘍 (SIR 0.95)、白血病 (SIR 0.97)、全がん (SIR 0.59) とともに携帯電話の使用との関連性は見られなかった。

携帯電話の使用と脳腫瘍の発症については、いずれの研究も有意な関連性を認めていない。但し、がんの誘発期間の長さ比べて、曝露から影響調査の時点までの間隔が短い点が本質的な問題点であり、脳腫瘍に無関係であることを証明するものではない。このような限界はあるが、ここでも携帯電話の使用が極端な悪影響を及ぼさないことが示唆されている。

一方、携帯電話使用の持ち手と脳腫瘍の側との関連についての議論がある。Hardell ら (1999, 2000, 2001) は、脳腫瘍 209 症例と対照 425 に対し、携帯電話

の使用と脳腫瘍の発症には関連が見出されなかったが (OR 0.98)、携帯電話機を使用している側に脳腫瘍が多発する (OR 2.42)、また頭頸部の X 線診断歴 (OR 1.64) との関連を示唆した。しかし、患者による自己報告であることから想起バイアスを避けられないという問題点が指摘されている。その後 Hardell ら (2002) は、脳腫瘍の症例 1303 とマッチした対照による症例対照研究を行い、やはり脳腫瘍の発症と携帯電話の使用に関連はみななかったが、腫瘍と持ち手の同側性について再び報告した。すなわち、アナログ電話の使用と同側の半球では OR= 1.8、コードレス電話では OR= 1.3、アナログ電話と同側の側頭部の発症では OR=2.5 であった。しかし、逆側の腫瘍の発症がいずれも 0.5 から 0.8 であることなど、想起バイアスが排除されないとの批判がある。Hardell らによるこれらの研究に対しては、研究手法に対して Ahlbom と Feychting による批判 (1999) がある。

現在 WHO の付置機関である国際がん研究機関 (IARC) では、携帯電話しよう頭頸部の腫瘍との関連について、わが国を含む 14 カ国で国際共同疫学研究プロジェクト (Interphone Study) を開始している。この研究では、携帯電話によって強く電磁界にさらされる部位と脳腫瘍の発症部位の関連を含めて、より詳細な検討が予定されている。このプロジェクトによって安全性についてのデータが補強されることが期待されている。なお、携帯電話による脳腫瘍のリスクに関しては、スウェーデン放射線防護局から 2002 年 9 月に詳細なレビューが刊行されている (Boice 2002)。

文献

- Muscat JE, Malkin MG, Thompson S, Shore RE, Stellman SD, McRee D, Meugot Al, Wynder EL. 2000. Handheld cellular telephone use and risk of brain cancer. *JAMA* 284:300-317.
- JE Muscat, MG Malkin et al: Handheld cellular telephones and risk of acoustic neuroma. *Neurology* 58:1304-1306, 2002.
- Inskip PD, Tarone RE, Hatch BE, Wilcosky TC, Shapiro WR, Selker RG, Eine HA, Black PM, Loeffler JS, Linet MS. 2001. Cellular-telephone use and brain tumors. *N Engl J Med* 344:79-86.
- Auvinen A, Hietanen M, Luukkonen R, Koskela RS. 2002. Brain tumors and salivary gland cancers among cellular telephone users. *Epidemiology* 13:356-359.
- Johansen C, Boice JD Jr, McLaughlin JK, Olsen JH. 2001.. Cellular telephones and cancer --- a nationwide cohort study in Denmark. *J Natl Cancer Inst* 93:203-207.
- Hardell L, N~sman A, PThlson A, Hallquist A, Mild KH. 1999. Use of cellular telephones and the risk for brain tumours: A case-control study. *mt J Oncol* 15:113-116.

- Hardell L, Nasman A, PThlson A, Haliquist A. 2000. Case-control study on radiology work, medical X-ray investigations, and use of cellular telephones as risk factors for brain tumors. *MedGenMed*. May 4.
- Hardell L, Mild KH, P~hlson A, Hallquist A. 2001. Ionizing radiation, cellular telephones and the risk for brain tumours. *Eur J Cancer Prev* 10:523-529.
- Ahlbom A, Feychting M. 1999. Re: Use of cellular phones and the risk of brain tumours: a case-control study [letter]. *mt J Oncol* 15:1045-1047.
- JD Boice JD and JK McLaughlin: Epidemiological studies of cellular telephones and cancer risk -- A review. Stockholm, Swedish Radiation Protection Authority, 2002. On line at: http://www.ssi.se/ssi_rapporter/pdf/ssi_rapp_2002_16.pdf
- P Michelozzi, A Capon et al: Adult and childhood leukemia near a high-power radio station in Rome, Italy. *Amer J Epidemiol* 155:1096-1103, 2002.
- O Hallberg and O Johansson: Melanoma incidence and frequency modulation (FM) broadcasting. *Arch Environ Health* 57:32-40, 2002.
- O Ozturan, T Erdem et al: Effects of the electromagnetic field of mobile telephones on hearing. *Acta Oto-Laryngol* 122:289-293, 2002.
- L Hardell, KH Mild et al: Case-control study of the use of cellular and cordless phones and the risk of malignant brain tumours. *Int J Rad Biol* 78:931-936, 2002.
- L Hardell, A Hallquist et al: Cellular and cordless telephones and the risk for brain tumors. *Eur J Cancer Prev* 11:377-386, 2002.

3) 動物実験と細胞実験

3)-1 動物実験による発がん性試験

携帯電話からの高周波電磁界の発がん性については、多くの議論がなされているが、発がん性を示唆する直接的な研究報告はほとんどなく、Repacholi らの報告(1997)がほとんど唯一の報告である。この研究では、遺伝子操作によりイニシエートしたマウス(E μ -Pim1 トランスジェニックマウス)計 201 匹 (2群) に、18 ヶ月間にわたり 800 MHz 帯の GSM 規格 (欧州を中心に世界各国で使われているデジタル方式) の電波を全身に照射したとき、リンパ腫が約 2.4 倍に増加したというものである。しかし、この実験では曝露条件がよく管理されておらず、全身平均 SAR が 0.08–4.2W/kg の間であったという情報しかない。また、本来は 10 ヶ月以下の短期間で発がん性試験を行うために開発された E μ -Pim1 マウスに 18 ヶ月もの試験を行うことが妥当であるか、とう問題点の指摘もある。このため、追試によって確かめるまではこの実験結果を正しく評価できないとされてきた。このため、オーストラリアおよび欧州 (欧州連合の研究プログラムによりイタリアで実施) でより精度の高い曝露装置を用いて、同じ問題についての追試実験が行われてきた。イタリアでの実験は未報告であるが、2002 年 9 月にオーストラリアで行われた追試研究結果が報告された (Utteridge 2002)。Repacholi らの曝露装置がアンテナ周囲におかれたケージで自由に動くことによって曝露のばらつきが大きかったのに対し、この実験では観覧車型に配置したチューブ内でマウスを曝露することにより、一定の曝露条件を実現した。この実験の結果では、リンパ腫の増加は見られなかった。この研究に対して、実験のデータ処理に一部問題があるという指摘がある。しかし、結論に影響が及ぶ重大な問題ではないようである。

他にも発がん性に関してのさまざまな動物実験が報告されている。しかしいずれも携帯電話からの電磁波ががんを増加させるという結果は得られていない (Takahashi 2002、Imaida 2001、Bartsch 2002)。

文献

- MH Repacholi et al: Lymphomas in E μ -Pim1 Transgenic Mice Exposed to Pulsed 900 MHz Electromagnetic Fields. *Rad Res* 147:631-640, 1997.
- TD Utteridge, V Gebiski et al: Long-term exposure of E μ -Pim1 transgenic mice to 898.4 MHz microwaves does not increase lymphoma incidence. *Radiat Res* 158:357-364, 2002.
- Letters to the editor concerning Utteridge et al and authors' response. *Radiat Res* 159:274-278. 2002
- S Takahashi, S Inaguma et al: Lack of mutation induction with exposure to 1.5 GHz electromagnetic near fields used for cellular phones in brains of big blue mice. *Cancer Res* 62:1956-1960, 2002.

K Imaida, K Kuzutani et al: Lack of promotion of 7,12-dimethylbenz [a]anthracene-initiated mouse skin carcinogenesis by 1.5 GHz electromagnetic near fields. *Carcinogenesis* 22:1837-1841, 2001.

H Bartsch, C Bartsch et al: Chronic exposure to a GSM-like signal (mobile phone) does not stimulate the development of DMBA-induced mammary tumors in rats: Results of three consecutive studies. *Rad Res* 157:183-190, 2002.

3)-2 DNA 鎖切断

H. Lai らはインビボで 2.45GHz のパルス波 (2 W/kg) に曝露したラットの脳組織の DNA 鎖切断をコメットアッセー法で調べた結果、DNA の 1 本鎖切断 (Lai 1995) および 2 本鎖切断 (Lai 1996) が増加することを報告した。

この研究に対して多くの追試実験が試みられた。しかし、Lai らの方法にできるだけ忠実な実験 (Malyapa 1998) を試みても、またインビトロのさまざまな実験でも再現されなかった (Malyapa 1997a, 1997b)。表 3.2 にこれまでの報告を示す。

表 3.2 DNA 鎖切断

著者	年	動物	方法	周波数-波形	SAR [W/kg]	曝露時間	結果
Sarker et al	1994	マウス	In vivo	2450, CW	1.18	2h/120, 150, 200d	+
Lal & Singh	1995	ラット	In vivo	2450, CW, PW	0.6, 1.2	2h	+
Lal & Singh	1996	ラット	In vivo	2450, CW, PW	1.2	2h	+
Lal & Singh	1997	ラット	In vivo	2450, PW	1.2	2h	+
Malyapa et al	1997	HGB	In vitro	2450, CW	0.7, 1.9	2, 4, 24h	-
		C3H	In vitro	2450, CW	0.7, 1.9	2, 4, 24h	-
Malyapa et al	1997	HGB	In vitro	835.6, CW	0.6	2, 4, 24h	-
		C3H	In vitro	847.7, CW	0.6	2, 4, 24h	-
Maes et al	1997	ヒト白血球	In vitro	935.2, CW	0.3 - 0.4	2h	-
Phillips et al	1998	HLB	In vitro	813.5	2.4 - 26	2, 21h	?
			In vitro	836.5	2.4 - 26	2, 21h	?
Malyapa et al	1998	ラット	In vitro	2450, CW	1.2	2h	-
Vijayalaxmi et al	2000	ヒト白血球	In vitro	2450, PW	2.1	2h	-
Li et al	2001	C3H	In vitro	835.6, CW	3.2 - 5.1	2, 4, 24h	-
			In vitro	847.7, CW	3.2 - 5.1	2, 4, 24h	-
Tice et al	2002	ヒト白血球	In vitro	837	1, 2.5, 5, 10	3, 24h	-
				1909.8	1, 2.5, 5, 10	3, 24h	-

Lai H, Singh NP. 1995. Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics* 16:204-210.

H Lai and NP Singh: Single- and double-strand DNA breaks in rat brain cells after acute exposure to radiofrequency electromagnetic radiation. *Int J Rad Biol* 69:513-521, 1996.

RS Malyapa et al: Measurement of DNA damage following exposure to 2450 MHz electromagnetic radiation. *Rad Res* 148:608-617, 1997a.

RS Malyapa et al: Measurement of DNA damage following exposure to electromagnetic radiation in the cellular communications frequency band

(835.62 and 847.74 MHz). Rad Res 148:618-627, 1997b

RS Malyapa et al: DNA damage in rat brain cells after in vivo exposure to 2450 MHz electromagnetic radiation and various methods of euthanasia. Rad Res 149:637-645, 1998.

JP McNamee, PV Bellier et al: DNA damage and micronucleus induction in human leukocytes after acute in vitro exposure to a 1.9 GHz continuous-wave radiofrequency field. Rad Res 158:523-533, 2002.

JP McNamee, PV Bellier et al: DNA damage in human leukocytes after acute in vitro exposure to a 1.9 GHz pulse-modulated radiofrequency field. Rad Res 158:534-537, 2002.

.

3)-3 小核形成と染色体異常

遺伝的影響として、DNA鎖切断は再現しないという見方がほぼ認められた。これに対し、小核形成については陽性とする報告例 (Tice 2002) があり、議論が続いている。その後の研究では陰性報告が多い。dAmbrosio (2002) は位相変調した 1748MHz、5W/kg の曝露で小核が増加したが、連続波では変化がなかったとしている。

Maes (1996, 1997) はヒト白血球の染色体異常 (姉妹染色分体交換) がやや増加することを報告したが、自らの追試研究で再現しなかったことを報告した (Maes 2001)。さまざまな結果が報告されているのでそれらの傾向を(表 3.3)にまとめる。

表 3.3 染色体異常／小核／姉妹染色体交換

著者	年			周波数- 波形	SAR [W/kg]	曝露時間	結果
Maes et al	1996	ヒト白血球	In vitro	954	1.5	2h	+
Maes et al	1997	ヒト白血球	In vitro	935.2	0.3 - 0.4	2h	+
Zotti-Martelli et al	2000	ヒト白血球	In vitro	2450, CW	???	15, 30, 60m	+
d' Ambrosio et al	2002	ヒト白血球	In vitro	1748, PW	5	15m	+
Tice et al	2002	ヒト白血球	In vitro	837	1, 2.5, 5, 10	3, 24h	+
				1909.8	1, 2.5, 5, 10	3, 24h	+
Sykes et al	2001	Mice	In vivo	900	4	30m/ 1, 5, 25d	(+)
Antonopoulos et al	1997	ヒト白血球	In vitro	380, PW	0.08, 0.2, 1.7	48 - 68h	-
		ヒト白血球	In vitro	900, PW	0.08, 0.2, 1.7	48 - 68h	-
		ヒト白血球	In vitro	1800, PW	0.08, 0.2, 1.7	48 - 68h	-
Maes et al	2000	ヒト白血球	In vitro	455.7	6.5	2h	-
Maes et al	2001	ヒト白血球	In vitro	900, CW	0.4, 2, 3.5, 5.5, 10	2h	-
Vijayalaxmi et al	1997	ヒト白血球	In vitro	2450, CW	12.5	1.5h, 3 x 0.5h	-
Vijayalaxmi et al	2001	ヒト白血球	In vitro	835.6, CW	4.4, 5.0	24h	-
Vijayalaxmi et al	2001	ヒト白血球	In vitro	847.7, CW	4.9, 5.5	24h	-
Vijayalaxmi et al	2002	ヒト白血球	In vitro	2450, PW	2.1	2h	-
Vijayalaxmi et al	2002	ヒト白血球	In vitro	8200, PW	20.7	2h	-
Bisht et al	2002	C3H	In vitro	835.6, CW	3.2, 5.1	3, 8, 16, 24h	-
		C3H	In vitro	847.7, CW	3.2, 5.1	3, 8, 16, 24h	-
d' Ambrosio et al	2002	ヒト白血球	In vitro	1748, CW	5	15m	?
Vijayalaxmi et al	1997	マウス	In vivo	2450, CW	1	20h/ 7d/ 1.5y	-
Vijayalaxmi et al	2001	ラット	In vivo	2450, CW	12	24h	-
Vijayalaxmi et al	2002	ラット	In vivo	1600	0.16, 1.6	2h/ 5d/ 2y	-

A Maes et al: 954 MHz microwaves enhance the mutagenic properties of mitomycin C. Environ Molec Mutagen 28:26-30, 1996.

A Maes and MVL Collier: Cytogenetic effects of 900 MHz (GSM) microwaves

- on human lymphocytes. *Bioelectromag* 22:91-96, 2001.
- A Maes, M Collier et al: Cytogenetic investigations on microwaves emitted by a 455.7 MHz car phone. *Folia Biol (Praha)* 46:175-180, 2000.
- JL Roti Roti, RS Malyapa et al: Neoplastic transformation in C3H 10T1/2 cells after exposure to 835.62 MHz FDMA and 847.74 MHz CDMA radiations. *Radiat Res* 155:239-247, 2001.
- Vijayalaxmi, WF Pickard et al: Cytogenetic studies in human blood lymphocytes exposed in vitro to radiofrequency radiation at a cellular telephone frequency (835.62 MHz, FDMA). *Radiat Res* 155:113-121, 2001.
- JP McNamee, PV Bellier et al: DNA damage and micronucleus induction in human leukocytes after acute in vitro exposure to a 1.9 GHz continuous-wave radiofrequency field. *Rad Res* 158:523-533, 2002.
- JP McNamee, PV Bellier et al: DNA damage in human leukocytes after acute in vitro exposure to a 1.9 GHz pulse-modulated radiofrequency field. *Rad Res* 158:534-537, 2002.
- G d'Ambrosio, R Massa et al: Cytogenetic damage in human lymphocytes following GMSK phase modulated microwave exposure. *Bioelectromag* 23:7-13, 2002.
- I Trosic, I Busljeta et al: Micronucleus induction after whole-body microwave irradiation of rats. *Mutat Res* 521:73-79, 2002.
- Vijayalaxmi, WF Pickard et al: Micronuclei in the peripheral blood and bone marrow cells of rats exposed to 2450 MHz radiofrequency radiation. *Int J Rad Biol* 77:1109-1115, 2001.
- Vijayalaxmi, KS Bischt et al: Chromosome damage and micronucleus formation in human blood lymphocytes exposed in vitro to radiofrequency radiation at a cellular telephone frequency (847.74 MHz, CDMA). *Radiat Res* 156:430-433, 2001.
- M Mashevich, D Folkman et al: Exposure of human peripheral blood lymphocytes to electromagnetic fields associated with cellular phones leads to chromosomal instability. *Bioelectromag* 24:82-90, 2003.
- RR Tice, GG Hook et al: Genotoxicity of radiofrequency signals. I. Investigation of DNA damage and micronuclei induction in cultured human blood cells. *Bioelectromag* 23:113-126, 2002.
- S Pacini, M Ruggiero et al: Exposure to global system for mobile communication (GSM) cellular phone radiofrequency alters gene

- expression, proliferation, and morphology of human skin fibroblasts. *Oncol Res Anti-Cancer Drug Design* 13:19-24, 2002.
- S Bisht, EG Moros et al: The effect of 835.62 MHz FDMA or 847.74 MHz CDMA modulated radiofrequency radiation on the induction of micronuclei in C3H 10T1/2 cells. *Rad Res* 157:506-515, 2002.
- R Higashikubo, M Ragouzis et al: Radiofrequency electromagnetic fields do not alter the cell cycle progression of C3H 10T1/2 and U87MG cells. *Rad Res* 156:786-795, 2001.
- P Heikkinen, V-M Kosma et al: Effects of mobile phone radiation on X-ray-induced tumorigenesis in mice. *Rad Res* 156:775-785, 2001.

3)-4 血液脳関門

血液脳関門への影響は、熱作用の生じるレベルでは透過性が高まることが知られていたが、携帯電話程度の弱い曝露でもアルブミンの漏洩が見られたという報告 (Salford 1994) 以来、高い関心を集めている。一方その後の研究では影響が見られないという報告がほとんどである (Tsurita 2000, Finnie 2002)。

Leszczynski ら(2002)は、インビトロでヒト内皮細胞を携帯電話と同様の波形で、携帯電話によって脳に生じるレベルと同程度の曝露を行い、熱ショック蛋白 27 の発現を報告した。この蛋白は、血液脳関門の透過性の増加に結びつくとして関心がもたれている。しかし、この研究の追試はおこなわれていない。

- LG Salford, A Brun et al: Permeability of the blood-brain barrier induced by 915 MHz electromagnetic radiation, continuous wave and modulated at 8, 16, 50 and 200 Hz. *Micro Res Tech* 27:535-542, 1994.
- LG Salford, AE Brun et al: Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones. *EPH-Online* 2003.
- G Tsurita, H Nagawa et al: Biological and morphological effects on the brain after exposure of rats to a 1439 MHz TDMA field. *Bioelectromag* 21:364-371, 2000.
- JW Finnie, PC Blumbergs et al: Effect of long-term mobile communication microwave exposure on vascular permeability in mouse brain. *Pathology* 34:344-347, 2002.
- D Leszczynski, S Joenväärä et al: Non-thermal activation of the hsp27/p38MAPK stress pathway by mobile phone radiation in human endothelial cells: Molecular mechanism for cancer- and blood-brain barrier-related effects. *Differentiation* 70:120-129, 2002.
- JW Finnie, PC Blumbergs et al: Effect of Global System for Mobile Communication (GSM)-like radiofrequency fields on vascular

permeability in mouse brain. Pathology 33:338-340, 2001.

4) ボランティア研究

4)-1 電磁波過敏症

Sandstroem(1998)はスウェーデンとノルウェーの携帯電話使用者約 11000 人に対して質問票郵送法に基づく自己申告による自覚症状の横断的調査を行った。その結果、スウェーデンでは 13%、ノルウェーでは 30%が、疲労感、頭痛、耳周辺の温熱感など、本人は携帯電話使用と関連すると考えている自覚症状が少なくとも一つあると回答した。また症状の申告率は 1 日当たりの使用時間と共に増加した。このような症状は、「電磁界過敏症」と総称される。携帯電話に限らず、さまざまな電磁界源の近くで症状を訴える症例が報告されている。北欧では、この問題が深刻に受け止められている。

この報告に対し Koivisto ら(2001)は、主観的な症状の存在を否定している。最近の報告として、携帯電話に対して過敏症状を訴えるボランティア 20 名に、欧州のアナログ、およびデジタル (GSM) 方式の電話による電波を照射または偽照射して、曝露と症状の関連性の調査が行われた (Hietanen 2002)。被験者からはさまざまな主観的な症状の訴えがあった。しかし、症状の発生は照射の有無に無関係であった。また、照射と偽照射の違いを言い当てられたものはいなかった。この研究報告は、携帯電話による電磁波過敏症が電磁波によるものではなく、電磁波に対する不安感に起因する主観的なものであることを強く示唆している。Ziskin (2002) は、電磁界過敏症の研究についてのレビューを行い、その原因が電磁界そのものではないと結論付けている。

4)-2 その他の神経生理学的影響

Braune(1998)らは GSM 方式の携帯電話を 35 分間使用した後の心拍数、血圧、手の末梢微小循環を測定した。その結果、心拍数がわずかに減少、血圧が 5 - 10mmHg 上昇、微小循環が減少したと報告した。しかし、その後の研究により、血圧の上昇などは実験条件によるアーチファクトであるとの結論を報告した (Braune 2002)。

携帯電話の電波を頭部に照射するとき反応時間の短縮が見られるという報告があった (Preece 1999、Koivisto 2000) が Edelstyn ら(2002)は注意タスクの向上という類似の結果を報告している。

これらから、脳幹を起源とする交感神経の亢進によるものではないかと考察している。但し、この実験はブラインド試験ではなく、また規模も小さいので信頼性が十分でない。

KA Hossmann and DM Hermann: Effects of electromagnetic radiation of mobile phones on the central nervous system. Bioelectromag 24:49-62, 2003.
JB Burch, JS Reif et al: Melatonin metabolite excretion among cellular

- telephone users. *Int J Radiat Biol* 2; 78:1029–1036, 2002.
- MC Ziskin: Electromagnetic hypersensitivity. *IEEE Engineer Med Biol* 21(Sep/Oct):173–175, 2002.
- DL Hamblin and AW Wood: Effects of mobile phone emissions on human brain activity and sleep variables. *Int J Rad Biol* 78:659–669, 2002.
- S Braune, A Riedel et al: Influence of a radiofrequency electromagnetic field on cardiovascular and hormonal parameters of the autonomic nervous system in healthy individuals. *Radiat Res* 158:352–356, 2002
- M Hietanen, AM Hämäläinen et al: Hypersensitivity symptoms associated with exposure to cellular telephones: No causal link. *Bioelectromag* 23:264–270, 2002.
- N Edelstyn and A Oldershaw: The acute effects of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention. *NeuroReport* 13:119–121, 2002.
- Radon, D Parera et al: No effects of pulsed radiofrequency electromagnetic fields on melatonin, cortisol, and selected markers of the immune system in man. *Bioelectromag* 22:280–287, 2001.
- M Sandström, J Wilén et al: Mobile phone use and subjective symptoms. Comparison of symptoms experienced by users of analogue and digital mobile phones. *Occup Med* 51:25–35, 2001.
- M Koivisto, C Haarala et al: GSM phone signal does not produce subjective symptoms. *Bioelectromag* 22:212–215, 2001.
- AW Preece, G Iwi et al: Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. *Int J Radiat Biol* 75:447–456, 1999.
- Koivisto M, Revonsuo R et al: Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. *Neuroreport* 11:413–415, 2000.

3.2 国際機関および諸外国の動向等

3.2.1 WHO の動向

WHO国際電磁界プロジェクトは全体計画の完了を2006年（最近2007年に変更されているが）を目処に進められており、2003年（これも2004年に変更されているようであるが）には、まず超低周波電磁界の健康影響に関するETC（Environment Health Criteria）の改訂作業を終了し、その後高周波電磁界の健康影響に関するリスク評価結果をまとめる方向で進められている。

そのプロジェクト一環として、最近、示唆されている健康リスクに関する
リスクコミ

ュニケーションのあり方についての「:電磁界のリスクに関する対話の確立（Establishing a dialogue on risks from electromagnetic fields）」と題する小冊子を出版しているほか、同問題への「予防原則（precautionary principle）」の適用に関する検討も進めており、本年2月には、WHO/NIEHS/ECの協賛で「予防原則の適用に関するワークショップ」（Workshop on Application of the Precautionary Principle）をテーマとするワークショップを開催した（2003年2月24-26日、場所：European Commission, Luxemburg）。1月24日は、一般公開の形で、予防原則の適用に関して推進派と慎重派のそれぞれの側からの発表が行われた。また、25-26日には、招待研究者によるドラフトドキュメントに関する集中討議が行われた。こうした予防原則の適用を巡る議論の前提として、上記の「:電磁界のリスクに関する対話の確立」の中にも説明されているような、リスクコミュニケーションの必要性が重要との判断があるが、その背景には、さらにIARC:が超低周波（商用周波数）磁界の発がんリスクを2Bと判定していること、携帯電話の普及が早く、ICNIRPのガイドラインに近い電磁波の増加していること、とくにECにおいて、BSEや化学物質汚染を教訓に、環境、食品さらには健康分野に拡大して予防原則を適用しようとする活発な議論があること、などが挙げられている。なお、上記ワークショップの最終ドキュメントは、先般の議論を踏まえて改訂し本年8月までにまとめる予定とのことである。

今後の予定（平成15年3月19日現在のWHOのHP情報）

超低周波電磁界の健康リスクに関する環境保健クライテリアドキュメントは2004年に完了する予定とされている（これまでの予定より1年遅れている）。また、高周波電磁界については、携帯電話によって頭部・頸部への影響があるかどうかの疫学調査を2005年にまとめ、その環境保健クライテリアドキュメントは2007年に終了予定とされている（これも1年延期となっている）

なお、今後とりまとめられる環境保健クライテリアドキュメントの内容項目として以下がリストされている。

1. Summary
2. Introduction
3. Sources of exposure and management
4. Environmental levels and human exposure
5. Internal dosimetry
6. Effects on laboratory mammals and in vitro test system
7. Effects on humans
 1. Cancer
 2. Reproduction
 3. Cardiovascular
 4. Neurodegenerative
 5. Behavioural
 6. Hypersensitivity
8. Methodological issues in ELF health risk assessment
9. Evaluation of dose-response
10. Evaluation of human health risks
11. Protective measures (including Precautionary Approach)
12. Conclusion & recommendations for protection of the human health and the environment
13. Further research

3.2.2 諸外国の動向

生活中的電磁界（とくに商用周波数磁界と高周波電磁界）に対してすでに予防的な対応を考慮しているドイツ、スウェーデン、スイスなどの動向について対応状況を以下に簡単にまとめる。なお、米国では州によって対応に差があり、とくにカリフォルニアでは独自の電磁界プロジェクトにおいてこれまでの電磁界の疫学調査結果を総点検し、その最終報告書を昨年公表した。その要約を和訳したものを以下に示す。

米国

職業性曝露あるいは住宅において曝露される60Hzの電磁界について連邦レベルでの基準はない。少なくとも6つの週では送電線の電界に関する基準を設けており、そのうち2州では磁界についても基準をセットしている。なお、それらの基準を設けている州はフロリダとニューヨークであり、それぞれ最大150mGと200mGのレベルを基準としており、通常的生活環境中では見られないほど高いレベルである。なお、米国の中でもカリフォルニアでは、独自の電磁界プロジェクトを進めてこれまでの電磁界の健康リスクに関

する文献を再評価し、最近その最終報告書を公表している。同報告書のサマリーは、以下の翻訳文の通りである。

EXECUTIVE SUMMARY OF THE CALIFORNIA EMF RISK EVALUATION FOR POLICYMAKERS AND THE PUBLIC

カリフォルニア電磁界リスク評価の要約（委員会承認済）

— 政策決定者および公衆に向けて —

評価の目的と方法：

カリフォルニア公共事業委員会（California Public Utilities Commission; CPUC）は、カリフォルニア公共医療サービス省（California Department of Health Services; DHS）に勤務する次の3名の科学者に、送電線、建物内の電線、ある種の作業および機器から発生する電界および磁界（EMF）による健康問題の可能性に関する研究を再検討（レビュー）することを要請した。CPUC のレビュー要望には、携帯電話や放送タワーから発生する無線周波数の EMF は含まれなかった。

再検討委員 1. Vincent Delpizzo, Ph. D. 物理学者、疫学者

再検討委員 2. Raymond Richard Neutra, M. D., Dr. P. H. 内科医、疫学者

再検討委員 3. Geraldine Lee, Ph. D. 遺伝学の訓練を受けた疫学者

以上の3名はそれぞれ EMF 領域での原著論文を発表し、長年この研究分野を追究している。再検討作業において、彼らは DHS 所属の毒物学者、内科医、疫学者らの助力を得た。

すべての証拠を再検討して得た結論：

- 程度の差はあるが、DHS の科学者3名全員は、EMF は小児白血病、成人脳腫瘍、ルーゲーリック病、流産のリスク増大をある程度引き起こす可能性がある、と信じる方へ気持ちが傾いている。
- EMF は出生時の欠損症や低体重のリスクを増大しない、と彼らは強く信じる。
- EMF は一般的な発ガン因子ではない、と彼らは強く信じる。なぜなら、EMF 曝露に関連しないがんの種類が多くあるからである。
- 程度の差はあるが、EMF は乳がん、心臓病、アルツハイマー病、抑うつ症、EMF 感受性関連症候群のリスク増大を引き起こさない、と彼らは信じる方へ気持ちが傾いている。
- EMF は自殺のリスク増大をある程度引き起こす、と信じるか否かの境界線に近いとの判断を3名全員はした。
- 成人白血病に関しては、EMF はリスク増大をある程度引き起こす、と信じるか否かの境界線に近いが2名、信じる方へ傾いているが1名であった。

他のレビューの結論とどのように異なり、その理由は何か：

DHS の再検討委員3名の結論には重要な差異があるものの、彼らは EMF 曝露が上述の健康問題のリスクを増大させると信じる傾向が、科学文献評価のために招集された他の科学委員会（NIEHS, 1998年; IARC, 2001年; NRPB, 2001年）の委員の大多数よりも強い。

これら委員会は全て、EMF を小児白血病に対する可能性のある発がん因子と評価した。したがって3つの委員会は、DHS パネルと同様に、生物学的影響を起こすことは不可能なほど居住環境 EMF は微弱であるという、物理学者の理論的議論に大きく左右されることはなかった。NIEHS は成人リンパ性白血病に対する可能性のある発がん因子との評価も加え、NRPB はルーゲーリック病との可能性のある関連性を評価した。DHS の3名は、EMF はこれら3疾患と関連がある、と幾分強めに考えた点、また他のパネルが問題としなかったかリスクと考えるのは不適切とみなした成人脳腫瘍と流産に EMF が関連することを示す証拠を信用した点において、他の3パネルと違いがあった。

この違いにはいくつかの理由がある。DHS の3名は、動物実験や試験管実験が健康問題やそのメカニズムを拾い出すことに失敗しているのには何か原因があるかもしれない、そのような動物実験や試験管実験から十分な裏付けが得られないことで、自分たちの自信が減じることはなく、また人口集団を対象とした統計的研究から得られた疫学的証拠を強く疑う考えを持つには至らなかった、と考察した。彼らは人口集団の疫学研究の品質により強い信頼をおいており、それらを信用したのである。

流産は例外として、EMF が病因となる可能性があるとする他の3疾患（小児白血病、成人脳腫瘍、ルーゲーリック病）は発生率が低く、年間発生率は1/100,000 から1/10,000の間である。たとえ発生率が2倍になったとしても、小児期あるいは一生の間の発生率を累積した累積生涯リスクは1/1,000から1%の間である。したがって、高度曝露群の大多数(99%-99.9%)は、それでもこれら疾患にかからないであろう。さらに言えば、計算によれば、上述のような病気の全ケースの内、EMF が原因とされるものの割合は、(たとえあるとしても)たかだか全体の数%であることが示唆される。

しかしながら、もしEMFがこれらの病気の原因に寄与しているとすれば、たとえそれに起因したケースの割合が小さくとも、高度曝露群の累積生涯リスクの大きさは規制当局の関心の対象となるかもしれない。実際、真の原因とみなされた場合には、これらよりも小さな推定生涯リスク(1/100,000)がきっかけとなって、規制の対象としての評価や、時には、大気中浮遊ベンゼンのような化学物質の実際の規制が行われるようになった。

これら病気の証拠と関係付けられているのは、通常ではない高度のEMF累積曝露であるが、このような曝露は、壁内の配線の異常な形状、接地された配管、送電線近傍、電気関係職場のある種の作業による曝露などから起こる。このような通常ではない高度のEMF累積曝露を避けるには、ある種の機器から一定の距離を保つ、家庭内配線や接地された配管、送電線の変更などの方法がある。釣り合いの取れた物の見方をすれば、家を買う、ジョギングルートを選ぶなど物事についての個人の決断には、交通、火事、洪水、犯罪によるある一定のリスクと一緒に、不確定だが同等レベルのEMFによるリスクの考慮も含まれるべきであるのかもしれない。

齧歯動物、鶏卵の実験ではEMFの影響はほとんどまたは全く裏づけが得られなかった一方、放射が強い初期型式のビデオディスプレイ端末(VDT)に関するいくつかの研究と新しい2件の人での疫学研究は、流産のかなりの割合をEMFが引き起こしているかもしれないことを示している。いずれにせよ流産は一般的（臨床的に妊娠と診断された100例に対し約10例）であるが、これら2件の研究によ

れば、EMFに曝露した妊婦が付加的に受けるリスクの理論値は、妊娠100例に対してさらに10例の追加である。

もしこれが真に因果関係であれば、明らかに個人および規制当局の関心の対象となるかもしれない。この新しい2件の疫学研究で関係があるとされたEMFの曝露様態（短期の、大変高い曝露）は、機器、異常な形状の壁内の配線、接地された配管などから数インチ以内の距離にいる場合に生じる可能性が高く、ごく稀に送電線からも生じるものであってもである。なぜなら、大半の人は日常生活においてこの分りにくい電磁界発生源に接近していて、ある種の機器のような明らかな発生源を避けたとしても、大半のこのような曝露を現代生活では避けるのが不可能であるかもしれない。

研究では、女性の75%が所定の1日以内にこのような短期の高度曝露を少なくとも1回経験した。1日1回の曝露でも、妊娠期間中定期的に経験した場合は、流産のリスクを増加するように思われた。それにもかかわらず、このような曝露を受けた妊婦の大半は流産しなかったのではあるが。

政策分析の目的のために、上述のリスクがどの程度真であるかについての判断を3科学者はどのように表現したか。

本EMFプロジェクトの政策分析のために、DHSの3科学者は、疫学研究が示唆した付加的な個人リスク範囲が真であることについて、各人別の専門的判断を数値で表現することが求められた。彼らは、0 から 100 のスケール上に、確かさの度合い

を数値的に示した。EMFリスクの示唆的証拠がある疾患について、3科学者はそれぞれ、最善の判断を×印で、不確かさの幅を斜線で示した図を提出した。3者間の違いは、主として、各研究の欠陥や他の解釈上の要因を無視することによる程度確信があるか、そしてある疾患の証拠が他の疾患に関する知見の確かさにどの程度影響を与えたかによって生じている。

複合したEMFの中の何を除去する必要があるのか(もしあるとすれば)？

様々な電氣的現象が送電線、家庭内配線、配管、機器の周辺に存在する。様々な周波数と場の方向を持つEMF、接地された配管に接触した時の迷走電流、電界中で帯電した大気汚染粒子などが含まれる。

疫学研究は主に磁界、または磁界と密接に関連した何かと関係するとしている。ある研究者は、磁界よりもむしろ、磁界に関連した高周波または低周波の迷走接触電流、または帯電した大気汚染粒子が真実の解釈を与えると考えます。

電磁界除去のため取りうる方策は、電流の除去や帯電粒子の除去の場合と必ずしも同じではない。上述3つの可能性のある解釈に対処するためには、費用のかかる様々な手段が要求される場合もある。別の場合には、費用のかからない回避行動で3つ全てが処理されるだろう。

この複雑な事象の中の何を軽減することが必要なのかという点でさらに不確かさが加わったが、これが政策決定者に与えられた挑戦課題であろう。カリフォルニアEMFプログラムは、この不確かさと向き合って遂行すべき選択肢を探求するためのプロジェクトに研究資金を与えた(ホームページ参照。www.dhs.ca.gov/ehib/emf)。これらは政策策定において、CPUCおよび他の州機関を指導することに用いられる。DHSは現時点で勧告を作成する用意はない。

どのような研究が欠けているか？

迷走接触電流や帯電した大気汚染粒子が本当に疫学研究の結果を説明するに十分であるか否かを決定することは、高度に政策と関連するであろう。ある示唆的な試験管実験、動物実験は追試を待っている。流産や急性心臓病死など一般的な病気の疫学は前向き研究が可能であり、それによって政策に資するに適当なものとなり、複合したEMFの何が生物学的反応を起こすのかをよりよく理解できるようになるであろう。

国際非電離放射線防護委員会 (ICNIRP)

1998年4月に、曝露ガイドラインを改訂し、日常的な電磁界曝露とがんの関連について信頼できる証拠はないとしている。

EU 連合

1996年、パネルメンバーは、電磁界曝露によるがんのリスク上昇については明らかな証拠がないと述べている。

オーストラリア

1997年、国会の放射線諮問委員会は、商用周波数磁界の健康影響について確実な結論に至るには不十分な証拠しかないとして議会に対してアドバイスした。

カナダ

1998年12月、ヘルスカナダの公衆衛生担当者からなるワーキンググループは、電磁界ががんのリスクの原因となっているかどうかを決める証拠は不十分であるとしている。なお、新たな知見が得られたところで見直すとして、電磁界の研究のモニタリングは必要とした。

ドイツ

1997年1月、ドイツは一般大衆についての電磁界曝露に関する国レベルの規則を決定した最初の国になった。法26で規定したこの規則は、架空および地下の高圧送電線、配電線、変圧器、電車の変換機や架空配電線などの電力設備にのみ適用された。しかし、規制基準とされた電界で5 kV/m、磁界で1 Gauss は通常的生活環境中にはありえないレベルである。なお、同法では、住宅、病院、学校、デイケアセンターあるいは子供の遊び場などの近傍の電力設備については、それらが新設される場合あるいは変更される場合には、ケースによって予防的な方策が採られるべきであるとしている。

英国

国立放射線防護局 (NRPB) は、2001年の非電離放射線への曝露を防護する

基準に関する政府への答申において、小児白血病のリスクと高レベルの商用周波数曝露との関連を示唆するいくつかの疫学調査結果があるとしている。また、一部の諮問委員会メンバーは、15歳未満の小児での白血病リスクは4mG以上で2倍となっていることを支持している。しかし、同時に、超低周波数の電磁界ががんを発生させることを示唆する実験結果は見られないことも指摘している。

スカンジナビア

1995年10月、科学的判断規準検討グループは、IARCの分類システムを用いて、職業性の電磁界はpossibly carcinogenic to humansであるとした。しかし、1994年のスウェーデン政府の判断のまま、大衆の曝露制限は必要はないが、大衆は電磁界に注意が必要としている。

1996年、5つのスウェーデンの政府機関が、予防的アドバイスについてさらに、電磁界は低減されるべきであるが、大きな不具合や費用がかからない範囲の現実的対応を採用すべきである、と説明している。

ノルウェイ、デンマークあるいはフィンランドの健康科学者は、住宅の磁界と小児白血病との関連については確認もできず、否定もできないと結論している。ただし、1994年、いくつかのノルウェイではいくつかの省が、低費用で不具合がない範囲で、住宅と電力設備の距離を増加させるよう推奨している。

イタリア

イタリアは、バチカン教会周辺での小児白血病の多発傾向などが社会問題化したり、緑の党の議員による強力な主張もあって、議会レベルで予防的な対策が必要との議論が盛んに行われてきた。本年1月には、それまでのより厳しい規制案を改訂し、以下のような動向が見られていると言う。なお、この情報は公的なものではないので、さらに情報収集が必要と考えられるが、一応参考までに示すと以下のような内容のものである。

「イタリアの首相は、10マイクロテスラの注意レベル (attention value) と3マイクロテスラの安心目標 (quality goal) を規定したデクレを承認した。これらの数値は24時間のメジアン値として計算される。デクレは上院の委員会の承認を経て正式に発効する。このデクレは2001年の電磁界枠組み法を実施するものである。枠組み法には、注意レベルと安心目標の数値は指定されていない。このデクレは最終的に、リチャード・ドールやマイク・レパチョリを含む」5名の国際的な専門家からなるパネルの諮問結果を受けた後に、数値を定めた。このパネルはICNIRPの制限値を提案したが、政府は環境大臣の提言に従い、パネルの提案

と0.2-0.5マイクロテスラを望む緑の党の主張の中間を選んだ。注意レベルの10マイクロテスラは、人々が4時間以上曝露する可能性のある全ての場所で遵守されなければならない。3マイクロテスラの安心目標は新規建設に適用される。安心目標はまた、遊び場に影響を及ぼす既存施設にも適用され、電力会社には是正策を実施するための時間的余裕が与えられる。電力会社は6～12カ月以内に是正計画を提出し、是正策の実施に10年間を必要とすると考えられる。」