

平成18年度 環境省調査業務報告書

一般環境中電磁界ばく露に係る情報収集業務

平成19年3月

社団法人 環境情報科学センター

はじめに

本報告書は環境省の依頼により社団法人環境情報科学センターが実施した「平成 18 年度 一般環境中電磁界ばく露に係る情報収集業務」の結果をとりまとめたものである。

本調査においては平成 18 年度に学術論文、国際会議等に現れた電磁界ばく露と健康に関する情報について、専門家によるとりまとめを得た。電磁界ばく露の健康影響に多くの関心が集まる中、リスク評価のための有益な資料となるものであれば幸いである。

本調査にご協力をいただいた専門家の方々をはじめ、関係各位にあらためて感謝の意を表す。

平成 19 年 3 月

社団法人 環境情報科学センター

理 事 長 丸 田 頼 一

I. 背景

一般環境中の電磁界ばく露による健康影響については、平成 8 年より世界保健機関（WHO）による評価文書のとりまとめが進行しており、国際諮問委員会（IAC）において電磁界ばく露を適切な範囲に抑えるための行動計画等のリスク管理手法をも含め、電磁界ばく露のリスクの検討が継続的に行われている。平成 18 年度中には超低周波電磁界に関するプロジェクトの報告結果が発表される予定であり、その内容を踏まえて適切な対応を図る必要がある。また、米国においては平成 11 年に米国エネルギー省による RAPID 計画が終了した後も、カリフォルニア大学を中心に疫学調査の再検討を実施する等、調査研究が継続されている。これらの国際動向を適切に把握しておくことは、国内一般環境における商用周波数（超低周波）電磁界ばく露の状況調査あるいは、電磁界ばく露による健康影響の把握のための調査を必要に応じて滞りなく実施していくために欠くことができない。

II. 調査目的

本調査においては、国際機関や諸外国政府・機関等における電磁界ばく露による健康影響評価の実施状況を把握し、結果をとりまとめた。また、新たに公刊された論文等の文献の中から、電磁界ばく露の健康リスク評価にとって重要な情報を見出し、内容を取りまとめ、わが国におけるリスク評価のための資料として整理した。

III. 調査内容

（1）電磁界ばく露の健康影響評価に関する国際機関および諸外国の動向調査

WHO における IAC 会議、その他のワークショップや国際学会等における電磁界ばく露の健康影響評価に関する取り組みや発表の状況について調査を実施し、専門家に依頼し、概要をとりまとめた。

< 専門家 >

齋藤友博 国立成育医療センター

大久保千代次 WHO

（2）電磁界ばく露の健康影響評価に関する文献情報調査

以下の主要学術誌・学会誌等に掲載された電磁界ばく露の健康影響評価に関連する最新の論文情報について概要をとりまとめる。論文情報のとりまとめ結果の執筆については専門家（2 名程度）に依頼する（各 25 枚程度）。なお、とりまとめにあたっては、専門家と事前に打合せを行う（東京にて年 1 回程度開催）。

NEJM (New England Journal of Medicine)

Lancet (医学雑誌・米)

Br J Med (British Journal of Medicine)

Br J Cancer (British Journal of Cancer)

Am J Epidemiology (American Journal of Epidemiology)

Epidemiology (疫学雑誌・米)

J BEMS (Journal of Bioelectromagnetic fields Society)

その他の医学、疫学、保健物理領域などの関連雑誌

< 専門家 >

東 敏昭 産業医科大学

多氣昌生 東京都立大学

IV. 調査結果

調査結果を本報告書にとりまとめた。本報告書は、第一部として電磁界ばく露の健康影響評価に関する国際機関および諸外国の動向調査結果を、第二部として電磁界ばく露の健康影響評価に関する文献情報調査結果を示す。

「平成18年度 一般環境中電磁界ばく露に係る情報収集業務」

第一部 電磁界ばく露の健康影響評価に関する国際機関および諸外国の動向調査結果	1
1 WHOの国際電磁界プロジェクト_第11回WHO国際諮問委員会.....	1
2 生体電磁環境国際シンポジウム.....	26
3 日韓EU米生体電磁環境ワークショップ.....	30
4 諸外国の動向(各国からの報告、声明、法律等).....	34
5 WHO環境保健クライテリア.....	35
第二部 電磁界ばく露の健康影響評価に関する文献情報調査結果	37
1 電磁界の健康影響に関わる最近の研究結果(2006).....	37
2 高周波電磁界の生体影響に関する研究動向.....	55

第一部
**電磁界ばく露の健康影響評価に関する国際機関
および諸外国の動向調査結果**

第一部 電磁界ばく露の健康影響評価に関する国際機関および諸外国の動向調査結果

本項は WHO における国際電磁界プロジェクトの国際諮問委員会 (IAC: International Advisory Committee) 会議、その他のワークショップや国際学会等における電磁界ばく露の健康影響評価に関する取組みや発表の状況についての調査結果のとりまとめである。以下の項目について記載する。

- 1 WHO の国際電磁界プロジェクト - 第 11 回 WHO 国際諮問委員会
- 2 生体電磁環境国際シンポジウム
- 3 日韓 E U 米生体電磁環境ワークショップ
- 4 諸外国の動向 (各国からの報告、声明、法律等)
- 5 WHO 環境保健クライテリア

1 WHO の国際電磁界プロジェクト 第 11 回 WHO 国際諮問委員会 (IAC)

1. プロジェクトの概要

1996 年から始まった「WHO の国際電磁界プロジェクト」では Repacholi 氏が責任者としてプロジェクトを統括し、本部事務局に専任の職員数名および非常勤職員数名を置くとともに、国際機関、科学研究機関および参加国政府の代表者からなる国際諮問委員会が設置されている。2005 年 4 月より、国立保健医療科学院を同年 3 月に退職した大久保千代次氏が本部事務局の専任職員として勤務している。また、協力機関を指定し、日本では国立環境研究所が協力機関となっており、英国、米国、オーストラリア等の政府機関など 8 の協力機関がある。このほか、国際電子技術委員会 (IEC)、国際非電離放射線防護委員会 (ICNIRP) をはじめとする各種国際 10 機関がプロジェクトに積極的に参加している。

毎年、国際諮問委員会を各地で開催するとともにテーマを定めたワークショップを同時に開催してきた。第 11 回国際諮問委員会は 2006 年 6 月にジュネーブで開催されたが、2006 年には例年同時開催されるワークショップは開催されなかった。

2006 年 7 月から、定年退職された Repacholi 氏に変わり、van Deventer 女史が責任者として統括することになった。第 12 回国際諮問委員会は 2007 年 6 月に予定されている。

2006 年 6 月 7 日~9 日にジュネーブ (スイス) で開催された。会議の概要は次ページ以降のとおり。

第 11 回国際諮問委員会は、6 名の WHO 本部職員と各国からの 65 名の国際諮問委員が出席し、3 日間行われた。今回は日本からの参加者は、WHO 本部職員として大久保千代次氏が政府代表を兼務して出席した。3 日間の議題を表 1 に示した。表 1 に次いで、それぞれの内容のまとめを簡単

に記す。

表 1 . 世界保健機関 (WHO) 国際諮問委員会 (IAC: International Advisory Committee)

国際電磁界プロジェクト第 11 回国際諮問委員会議事

2006 年 6 月 13 ~ 15 日、ジュネーブ、スイス

6 月 7 日 (月)

9:00	開会 挨拶	S Weber-Mosdorf
	議長・副議長選出 / 議事の採択 プロジェクト計画と進捗状況	M Repacholi
10:00	WHO による静磁界健康影響評価の経過報告	E van Rongen
11:00	WHO による極低周波電磁界健康影響評価の経過報告	E van Deventer
10:00	国際機関の活動報告 国際電子技術委員会 (IEC)	M Bourdages
	国際電磁安全委員会 (ICES)	R Bodemann
	国際非電離放射線防護委員会 (ICNIRP)	P Vecchia
	協力機関の活動報告 英国保健庁放射線防護局 (HPA-PD)	A McKinlay
	オーストラリア放射線核安全庁 (ARPANSA)	C Roy
12:30		
13:30	研究 この 1 年間研究概括	B Veyret
	INTERPHONE 研究の近況	E Cardis
	携帯電話コホート研究近況	M Toledano
	仏露共同研究プロジェクトの近況	B Veyret
14:30	今後の研究 WHO の研究計画 (静磁界、極低周波、無線周波)	C Ohkubo
	その他 (EMF-NET、Soul、Monte Verita、COST281)	P Ravazzani
	EMF 研究機関 (MTHR、フランス基金、CH 等)	E van Deventer
16:30	基準 / 施策 WHO の基準値作成への枠組み	E van Deventer
	モデル法律	R Repacholi
	施策作成への枠組み	E van Deventer
	討議	

6 月 14 日 (火)

9:00	各国の基準と施策 ロシア	O Grigoriev
	ニュージーランド	P Prendergast
	イスラエル	S Kandel
11:00	報告と意見交換 1 WHO/NIOSH 文書	E van Deventer
	EC: 無線通信に関する地方自治体向け冊子	C Roy
	科学的事実報告 (ファクトシート) の概括	C Ohkubo
	極低周波の規制に関する歴史的考察	S Kandel

	WHO ホームページの更新	E van Deventer
14:00	報告と意見交換 2	
	小児対象 EMF ネット教育プログラム	K Ng
	ネット教育ホームページ	B Veyret
	FEMU: 研究データベース	C Ohkubo
	世界各国の基準に関するデータベースの更新	D Simunic
16:00	事務連絡	M Repacholi
	開催予定の会議・研究会	
	今後の行動予定	
	運営資金の状況	
	次回委員会	

6月15日

9:00	WHO 健康リスク評価	
	静磁界	E van Rongen
	極低周波	E van Deventer
10:30	予防的防索	
	費用効果解析：SAGE の例	H Walker
	経済的影響評価	C Roy
	オランダの極低周波施策：解析と意志決定	E van Rongen
16:00	事務連絡	M Repacholi
	開催予定の会議・研究会	
	今後の行動予定	
	運営資金の状況	
	次回委員会	

このプロジェクトを監理する部局である WHO の公衆衛生・環境部 (Department of Public Health and Environment) の部長である Neira 氏がまず歓迎を意を述べた。互選により南アフリカの Villiers 氏を議長に、ロシア共和国の Grigoriev 氏を副議長に選出した。

1.1 プロジェクト計画とこの1年の進捗状況

このプロジェクトの統括責任者である放射線・環境保健課 (Radiation and Environmental Health Unit) の Repacholi 氏がこのプロジェクトの概要とこの1年の進捗状況について説明した。

このプロジェクトは 1996 年 5 月に発足し、0-300 GHz の電界と磁界へのばく露による健康への影響を科学的研究成果を独自に検討することによって評価を行い、WHO としての指針を示すことにある。この目的のため、国際諮問委員会を設置し、国際機関、各国研究機関、政府代表者を構成員として年 1 回の会議を開催してきた。2008 年末までには評価と指針作成を終え、それらは WHO 刊行物として発行される。WHO は公衆衛生・保健部を再編し、今後も新たな技術革新が健康へ与える影響のモニターと評価を継続することになっている。

1.1.1 総括

1.1.1.1 構成メンバー

すべての WHO 加盟国に参加は開かれており、現在 60 以上の政府を含む国の機関の代表が参画している。この 1 年では、ギリシャ原子力エネルギー委員会代表が国際諮問委員会に加わった。

1.1.1.2 協力体勢

このプロジェクトでは 2 つのタイプの機関と正規の協力関係を結んでいる。国際機関と研究機関である。このほかにも必要に応じて一時的に機関や個人との協力体勢を築いている。

国際機関は ICNIRP、IARC、UNEP、ILO、EC、ITU、IEC、NATO、IEEE である。協力研究機関は、米国の Brooks Air Force Base、オーストラリアの ARPANSA、ドイツの BfS、米国の FDA、スエーデンの Karolinska Institute、日本の NIES(国立環境研究所)、米国の NIEHS、米国の NIOSH、英国の HPA、カナダのオタワ大学 MacLaughlin Center for Population Health Risk Assessment がある。

1.1.1.3 事務局

WHO は事務局としてプロジェクトの調整、促進、実行を担当している。WHO の Department of Protection of the Human Environment (PHE) に属する Radiation and Environmental Health Unit (RAD) が上記作業を行う。RAD は電離および非電離放射線に関する WHO のすべての活動を指揮監督する部局である。

スタッフ

Dr. Michael Repacholi が RAD の責任者で、1995 年にこのプロジェクトを WHO に提言して翌年立ち上げた。2006 年 6 月に退職する。Dr. Emille van Deventer が事務局内のほぼすべての活動を監理し、これまでに WHO ワークショップの成果を論文として学術誌に発表してきた。Professor Chiyoji Ohkubo は 2005 年から加わったが、1996 年以来 4 月日本政府の代表として国際諮問委員会に委員を務めた。彼は外部からの問い合わせに対応し、極低周波(Extremely Low Frequency)電磁界環境保健評価モノグラフの編集の任にある。Dr. Richard Saunders は 2005 年 3 月から 2007 年 2 月まで週 2 回非常勤で勤務し、極低周波環境保健基準および静磁界環境保健基準の編集を行っている。Dr. Eric van Rongen はオランダ保健委員会から非常勤として派遣され、極低周波環境保健基準および静磁界環境保健基準の編集に協力している。Ms. Lisa Ravenscroft は事務局担当として会議、ワークショップの準備、ホームページ更新なども担当している。

プロジェクトの財政

運営費は参加国や機関からの外部資金提供により、WHO 本部に審査を経ている。このほか無給で資料作成や翻訳を行っている国際諮問委員会委員も多数、EC や EMF-NET、COST281 などからは会議やワークショップ参加者の旅費の援助を受けている。2005 年 6 月から 2006 年 6 月までの歳入は 725,000 ドルで、歳出では主なもととしてスタッフの給与が 660,000 ドル、非常勤職員の旅費等が 190,000 ドル、94,000 ドルがプロジェクト職員の旅費となっている。119,000 ドルは事務提供費などとして WHO へ拠出している。まだ多少の備蓄はあるが、2007 年始めには底を突く可能性があり、資金確保が求められている。

1.1.2 リスク評価および科学的活動

このプロジェクト目的達成のため、以下のような科学的活動を行っている。世界の研究成果を環境保健評価へ取り込んでいく。科学研究成果の独自の評価を行う。必要な研究を指し示す。研究資金団体と協調して目的を絞った研究を推奨する。国際協調に立って健康影響への懸念に答えていく。

1.1.2.1 リスク評価

環境保健クライテリア (EHC: Environmental Health Criteria)

このプロジェクトの具体的成果として、環境保健クライテリア (環境保健評価のモノグラフ) を発行する。手順としては、担当委員によって作成された草案を専門家に回覧し、タスクフォースとして WHO の副事務局長の承認を経た地域、専門性、性別などを考慮して選出された小委員会で検討する。この環境保健評価モノグラフは、各国政府および国際機関がリスク評価を行ってリスク管理に関する意志決定を行う上での補強資料としての役割をもつ。

静電磁界

静電磁界の環境保健評価は 2006 年 3 月に EHC232 として発行され、ホームページでも公開されている。すでにフランス語、スペイン語、ロシア語にも翻訳されている。

(<http://www.who.int/peh-emf/publications/reports/ehcstatic/en/index.html>)

極低周波電磁界

この環境保健評価は 0-100 kHz の電界、磁界の健康影響についてのモノグラフだが、多くは 50-60 Hz の電力に使用される電流からの磁界の健康影響についての評価で、MRI からの 3-30 kHz の低周波、テレビ、パソコンなどの VDU からの弱い低周波の評価もされる。2006 年末までには発行される予定 (実際は 2007 年度となった)。

無線周波電磁界

この環境保健評価のモノグラフは ICNIRP や英国政府部局 HPA-RPD の評も得て、WHO のタスクフォース小委員会の最終検討を 2008 年始めに行いその後発行されるが、INTERPHONE 国際共同研究の最終結果やその他の E C 研究助成による研究、IARC の無線周波電磁界に対する発がん性評価と分類の時期にも依存している。

1.1.2.2 科学的評価

1.1.2.2.1 WHO ワークショップ

この 1 年間に、環境保健評価にモノグラフ発行に向けて WHO による特定のテーマに関するワークショップが 4 回開催された。

① 基地局と無線通信：ばく露と健康 2005 年 6 月 ジュネーブ、スイス

2 日間にわたって携帯基地局と無線通信および今後の機器発展によるばく露による健康影響の可能性、リスクコミュニケーション、政府や他の利害共有者との関係などについて講演と討議が行われた。このワークショップは EMF-NET、COST 281、FGF、ICNIRP が共催した。

この成果は Roy 氏による報告¹⁾、WHO の科学的事実報告²⁾で公開され、抄録の刊行、原著論文として 2006 年 5 月の Bioelectromagnetics の掲載が予定されている。

1)http://www.who.int/peh-emf/meetings/rapporteurs_report_base_station_workshop_june2005.pdf

2)<http://www.who.int/mediacenter/factsheets/fs304/en/index.html>

② 科学的不確実性下における公衆衛生施策の構築 2005 年 7 月 オタワ、カナダ

環境保健評価モノグラフの草稿をたたき台として、科学的不確実性下における公衆衛生施策の枠組みについて、実例を上げながら検討した。この概要は以下に掲載されている。

http://www.who.int/peh-emf/meetings/ottawa_june05/en/index.html

③ 無線周波電磁界：健康影響と防護施策選択肢 2005 年 7 月 メルボルン、オーストラリア

無線周波電磁界の健康影響評価、科学的不確実性下での測定指標の扱い方、リスクコミュニケーション等について検討した。WHO、放射線オーストラリア・アジア防護協会、オーストラリア無線周波電磁界生物影響研究センター、Swinburne 工学大学が共催した。討議内容と資料は以下に掲載されている。

http://www.who.int/peh-emf/meetings/fworkshop_melbourne_nov05/en/index.html

④ 無線周波電磁界のドシメトリー 2005 年 12 月 モスクワ、ロシア

主に東ヨーロッパの無線周波電磁界のドシメトリーの専門家、研究者、基準値作成担当者、政

府関係者を対象として、無線周波電磁界のドシメトリーの基礎的事項、高度で信頼性の高い測定法、SAR 値の概念と有用性等について討議を行った。以下に発表資料が掲載されている。

http://www.who.int/peh-emf/meetings/docimetry_workshop_dec05/en/index.html

1.1.2.3 研究調整

1.1.2.3.1 研究データベース

研究者を対象とした、このプロジェクトに関連のある進行中の研究などを掲載したデータベースを WHO のホームページに開設している。維持、更新は COST 281 および FGF の支援を得ている。

<http://www.who.int/peh-emf/research/database/en/index.html>

2006 年 4 月から、ドイツの EMF-Portal と呼ばれる Aachen 大学病院の文献提供サイトとのリンク(http://www.emf-portal.de/_index.php)が開始された。

1.1.2.3.2 優先的研究課題

1997 年来必要かつ推奨される研究が提案され、定期的に改訂されているが、この 1 年では静電磁界の環境保健クライテリア発行と、無線周波電磁界の優先的研究に関する特別委員会の開催に伴い、**優先的研究課題**の内容が発刊された。

静電磁界：http://www.who.int/peh-emf/research/smf_research_agenda_2006.pdf

無線周波電磁界：http://www.who.int/peh-emf/research/rf_research_agenda_2006.pdf

極低周波に関しては環境保健クライテリア発行後に、発表される。

1.1.2.3.3 WHOの研究費支援団体への働きかけ

国際的な研究支援団体や各国の政府関連機関に対して WHO が推奨する研究への助成を働きかけている。

①EC (European Commision)

WHO が EC に対して直接、加えて EMF-NET を介して、静電磁界への健康影響の可能性に関する研究を第 7 枠組みの優先課題とするよう要請した。5 年前の第 5 枠組みでは WHO の国際電磁界プロジェクトの推奨研究を取り入れ、計 2000 万ユーロを拠出した。

②各国の研究プログラム

各国が実施する研究プログラムに対しても WHO が推奨する研究への支援を要請している。代表的なものとして、英国の携帯電話の健康影響研究があり、この研究では 1800 万ポンドが費やされた。この研究成果が論文として発表されつつある。フランスでは、無線周波電磁界の健康影響研究財団が設立され、第一回助成に 100 万ユーロが用意されている。

1.1.3 リスク管理活動

この活動の目標には以下のようなものがある。

- ・ 国際的に受け入れられる電磁界ばく露基準の作成の促進
- ・ 電磁界リスクパーセプション、リスクコミュニケーション、リスク管理についてのモノグラフ発刊による各国政府への情報提供
- ・ 政府機関、研究機関、一般住民、勤労者への助言と啓蒙

1.1.3.1 電磁界基準作成の枠組み

WHO は ICNIRP の基準 (1998) を強く進めるが、各国が基準値や安全係数など、この基準を独自に改善へ向けて新たに作成するのであれば、科学的視点に基づくその作成手順の枠組みを提供する。会議にての検討を重ねてできあがった枠組みが公開されている。

<http://www.who.int/peh-emf/standards/framework/en/index.html>

1.1.3.2 モデル法令

電磁界へのばく露から国民を守る順当な法律のない場合、その立案の支援としてモデル法律を作成した。この法律の重要な骨子は、ばく露基準値として ICNIRP の国際基準値を用いることと、機器からの発生規制値としては IEC および IEEE の国際基準値を用いることである。モデル法律は公開されている。法に加え、規制、通達なども含まれている。

http://www.who.int/peh-emf/standards/emf_model/en/index.html

1.1.3.3 施策作成の枠組み

この枠組みは、政策決定の立場にある人が、科学的事実に基づいて合理的に施策を作成するための指針である。ここでは科学的不確実性下において、論理的かつ経済的な方法を導き出す道筋が示されている。国によっては極めて慎重な予防的立場をとるところもあるが、それは研究者、政治家、国民にとって挑戦であると同時にまたとない機会でもある。この枠組みはオタワでのワークショップで討議され、WHO 内外でも度々検討され、次回国際諮問委員会でも論議される。

1.1.3.4 基準データベース

世界各国の基準に関するデータベースが Simunic 教授の支援を得て更新されている。

http://www.who.int/docstore/peh_emf/EMFstandards/who-0102/Worldmap5.htm

1.1.3.5 職業ばく露管理

米国の国立産業保健安全研究所 (NIOSH) と共同で「電磁界の職業ばく露管理」の草稿が準備された。EC、フィンランド国立産業保健研究所、ILO からの意見も取り入れ、現在関係者間

での再検討中である。

1.1.3.6 個別国支援

2002年5月から要請に応じて個別国への技術、情報提供支援を始めた。この1年にこの活動の一環として訪問した国はオーストラリア、ブラジル、中国、キューバ、アイルランド、日本、ニュージーランド、ロシア、スペインであった。

1.1.4 スクコミュニケーション活動と情報提供

1.1.4.1 問い合わせ

一般、メディア、政府等から数多くの問い合わせに対して事務局スタッフが回答している。

1.1.4.2 ウェブサイト

1.1.4.2.1 ホームページ

WHO本部のサイトではアラビア語、中国語、英語、フランス語、ロシア語、スペイン語の6カ国語で情報が得られるが、国際電磁界プロジェクトのサイトでは一部分がこれらの言語に翻訳されている。当プロジェクトサイト (<http://www.who.int/emf>) は頻繁に更新がされ、WHOのSDE部門では2番目にアクセスが多い。

1.1.4.2.2 各国の問い合わせ先と情報

事務局への問い合わせの一部は国や地方特有の問題であることも少なくない。そこで、各国の電磁界サイトのアドレスや問い合わせ先を掲載している (<http://www.who.int/peh-emf/project/mapnatreps/en>) 。

1.1.4.3 刊行物

このプロジェクトのすべての刊行物は国際諮問委員会の評定を経て、本部監理部門の正式の承認を得て刊行されている。

1.1.4.3.2 ファクトシートおよび情報シート

ファクトシートは研究結果に基づく科学的事実のリストのみであり、事務総長レベルの承認後に発行される。情報シートは科学的事実と各国政府機関への一般的な助言情報から成り、部局長レベルでの承認後に発行される。この1年間に発行された科学的事実文書以下に掲載されている。電磁界過敏症 (No. 296)、静電磁界 (No. 299)、基地局と無線通信 (No. 304) である (<http://www.who.int/mediacenter/factsheets/en/>) 。

1.1.4.3.2 施策文書

以下の施策作成枠組みに関する文書がホームページに掲載されている。

「健康影響に考慮した電磁界の基準作成の枠組み」

<http://www.who.int/peh-emf/standards/framework/en/index.html>

「モデル法令」

http://www.who.int/peh-emf/standards/emf_model/en/index.html

1.1.4.3.3 引用文献

- L Kheifets, M Repacholi, R. Saunders, T.E. van Deventer, Sensitivity of Children to Electromagnetic Fields, *Pediatrics* (August 2005)
- L Kheifets, J Sahl, R Shimkhada, M Repacholi, Developing policy in the face of scientific uncertainty: interpreting 0.3 μ T or 0.4 μ T cut points from EMF epidemiologic studies, *Risk Analysis* (August 2005)
- Sensitivity of Children to EMF, Bioelectromagnetics, Supplement issue, S1-S160 (September 7, 2005)
- L Kheifets, T. E van Deventer, G. Lundel, J. Swanson, Le principe de précaution et les champs électriques et magnétiques : mise en oeuvre et évaluation, *Environnement, risques et santé* (Jan-Feb 2006)
- T.E. van Deventer, D. Simunic, M Repacholi, EMF standards for human health, chapter in *Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields*, 3rd ed., F. Barnes and B Greenebaum, eds. (to be published September 2006)
- K. Hansson Mild, M. Repacholi, E. van Deventer and P. Ravazzani (Editors) Electromagnetic Hypersensitivity. Proceedings of the International Workshop on EMF Hypersensitivity, Prague, Czech Republic, October 25-27, 2004. World Health Organization, EMF_NET, Geneva (2006).
- P. Valberg, E. van Deventer, and M. Repacholi. Base stations and wireless networks: RF exposures and health consequences. Bioelectromagnetics (submitted)
- E. van Rongen, R. Saunders, E. van Deventer and M. Repacholi (2006). Static fields: Biological effects and mechanisms relevant to exposure limits. Health Physics (submitted)

1.1.4.4 参加会議

WHO 事務局スタッフは下記の各地方、国、地域の科学会議に出席した。

2005 年 7 月 11-13 日	カナダ オタワ市	Workshop on guiding public health policy in areas of scientific uncertainty
2005 年 9 月 12-16 日	中国 クンミン市	The 4 th International Seminar on EMF & Biological Effects
2005 年 9 月 15 日	フランス パリ市	Fondation Santé et Radiofréquences
2005 年 9 月 20-23 日	キューバ ハバナ市	Inter-American Congress on Environmental Health

2005年9月26-29日	ブラジル サンパウロ市、リオデジャネイロ市、ブラジリア市	Meetings on EMF Project organized by Ministry of Health
2005年10月12-14日	スペイン マドリッド市	EMF Seminar on country recommendations
2005年10月31日 11月1日	フィンランド ヘルシンキ市	Workshop on Application of Proteomics and Transcriptomics in EMF Research
2005年11月3-5日	フランス ボルドー市	First Meeting of French Russian study
2005年11月4日	フランス パリ市	Fondation Santé et Radiofréquences
2005年11月7-8日	韓国 ソウル市	2005 Joint Workshop on Mobile Telephony and Health
2005年11月12-24日	オーストラリア メルボルン市	WHO / Australian Radiofrequency fields: Health effects and policy options for protection
2005年11月20-20日	スイス モントベリタ市	EMF Health Risk Research: Lessons Learned and Recommendations for the Future
2005年11月21-22日	ニュージーランド ウェリントン市	Meeting with Ministry of Health
2005年11月21-23日	アイルランド ダブリン市	Irish EMF Expert Group
2005年12月3-8日	ロシア モスクワ市	Regional EMF Dosimetry Workshop, Institute of Biophysics
2005年12月8-9日	フランス パリ市	Fondation Santé et Radiofréquences
2005年12年11-13日	フィンランド ヘルシンキ市	European Environment and Health Committee (EEHC)
2005年12月15-16日	デンマーク コペンハーゲン市	WHO EURO
2006年1月19-20日	WHO ジュネーブ市	EMF Meeting for Irish EMF Expert Group
2006年1月24日	ベルギー ブルッセル市	ELF Meeting with EU
2006年1月31日	フランス パリ市	Fondation Santé et Radiofréquences
2006年2月16-17日	アイルランド ダブリン市	Irish EMF Committee Meeting
2006年3月9日	フランス パリ市	Fondation Santé et Radiofréquences
2006年3月17-22日	ドイツ ベルリン市	ICNIRP/WHO International Workshop on EMF Dosimetry and Biophysical Aspects relevant to Setting Exposure Guidelines
2006年3月29-31日	オランダ ハーグ市	Irish EMF Expert Group Meeting
2006年4月20-21日	オーストリア グラツ	COST 281 meeting

	ツ市	
2006年4月24日	イギリス ロンドン市	MTHR committee meeting
2006年5月3-5日	アイルランド ダブリン市	Irish EMF Expert Group meeting
2006年5月4-6日	ドイツ ベルリン市	Workshop on characterizing scientific evidence
2006年5月11日	フランス パリ市	Fondation Santé et Radiofréquences
2006年6月1-2日	アイルランド ダブリン市	Irish EMF Expert Group meeting

2. 国際機関および協力機関からの経過報告

2.1 国際電子技術委員会(International Electrotechnical Commission)

カナダの Bourdage 氏は、当委員会の技術部会が 0~300 GHz の電界、磁界および電磁界の人へのばく露評価に関する測定と計算方法に焦点を当てていること、そして一般および特殊な環境でのばく露基準やばく露制限案を提案することはないことを強調した。物理学的な面から、電界強度、磁界強度、SAR 値、電力密度などの測定および計算法に関する標準手順を提示し、電子製品がばく露基準に合致しているかどうかの適合性判断の利用に供することを目的としている。現在 5 つのワーキンググループがあり、それぞれがいくつかのプロジェクトを監理している。第 1 のグループは 0~100 kHz の低周波領域、第 3 グループは 100 kHz~300 GHz の高周波領域についての基礎的な基準作成を、第 2 および第 4 グループは前者が低周波、後者が高周波の製品に関する基準作成を担当している。第 5 グループは全周波数領域について、基準が存在しない製品への適用に関する総括的な基準というものを開発している。詳細はにて参照できる。

2.2 国際電磁安全委員会(International Committee for Electromagnetic Safety)

ドイツの Bodemann 氏は、当委員会および電気電子技術者協会(Institute of Electrical and Electronics Engineers)の基準標準化へ向けた努力の目標は、いかなる団体へも開かれた透明で意見の一致によるプロセスを経て、ICNIRP との協調のもとに国際的基準の調和を目指すものであると述べた。無線周波領域である 3 kHz~300 GHz の電磁界への人のばく露に関する安全レベルについて改訂稿を作成した。この改訂された無線周波電磁界のばく露基準値は ICNIRP のものと合致し、一般住民への 100 GHz までの許容ばく露限界値(Maximum Permissible Exposure)も ICNIRP の基準値と一致している。RF 波の安全に関する推奨プログラムを作成している。2005 年 6 月以降、以下の文書が発行または承認された。「3 kHz~300 GHz の無線周波電磁界への人のばく露に関する安全レベル基準」、「無線周波電磁界安全プログラム実施の推奨」、「人頭部モデルの CAD ファイルの改訂」、「無線通信機器による人頭部での SAR (Specific Absorption Rate) の空間的平均値算出および測定法の推奨実施手順」。なお、2006 年 6 月 9 ~ 11 日にはメキシコの

Cancun にて、また 8 月 28～30 日にはアメリカ Piscataway にて夏期委員会が開催される。

2.3 国際非電離放射線防護委員会 (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP)

イタリアの Vecchia 氏は、当委員会は非電離放射線の全周波数領域を対象とした活動を行っている」と述べ、改選された委員と幹事会委員の紹介を行った。電磁界分野で現在取り組んでいる活動は無線周波電磁界の包括的な文献レビュー（物理、ドシメトリー、生物学的影響、疫学）、静磁界に関する指針改定、電磁界を生じる新興技術機器出現による健康影響への見解作成などである。静磁界と極低周波電磁界に関する指針作成タスクフォースが 2005 年に設置され、静磁界の指針案の第一稿が 2006 年 5 月に検討された。100 kHz～300 GHz の無線周波電磁界に関する指針の改定も計画されている。2006 年 5 月 20～22 日にはドイツ Berlin にて、静磁界からテラヘルツに及ぶ全周波数帯に対する「ばく露基準設定指針の作成に要求される電磁界ドシメトリーと生物学的研究」をテーマとする国際ワークショップを開催した。このワークショップでは一般人および職業人に対するばく露基準値に関する最新研究成果も紹介された。電磁界への職業人に対するばく露に関する ICNIRP/EMF-NET/WHO ワークショップ」が 2007 年春にイタリアで開催される。

2.4 英国保健庁放射線防護局 (Radiation Protection Division of the UK Health Protection Agency)

英国の MacKinlay 氏は、当局で進行中の研究について報告した。コンピューターによるドシメトリー、実験的ドシメトリー、生物学的研究が主なものである。コンピューターによるドシメトリーではハイブリッド Voxel 数学モデルを用いて妊婦モデルが開発された。在胎 8、13、26、38 週胎児の数式モデルは Voxel 化し成人女性モデルの NAOMI を統合した。また、男子の Voxel ファントムモデルである NORMAN を用いて、座位の成人および縮尺した子供の SAR 値は周波数に依存することを示した。無線周波電磁界の近傍界ばく露による人の眼球温度上昇を算出する電磁界と温度の統合モデルを開発した。50 Hz の電界、磁界のハイブリッド Voxel 数学モデルによる妊婦モデルのドシメトリーをおこなって学術誌に発表した。同様に、座位での人体部位に対する 10 MHz～3 GHz の FDTD による SAR 値 (Specific Absorption Rate) も算出し発表した。BBC 放送局電波塔からの中波および高周波のレベルがばく露指針に合致しているかの評価が行われ、ホームページで公開されている。実験的ドシメトリーとして、住居における磁界の発生源調査およびマイクロセル型・ピコセル型の超小型基地局からの磁界に関するばく露評価が行われ、GSM マイクロセル型・ピコセル型の超小型基地局からの無線周波電磁界の一般住民へのばく露評価も専門誌に発表された。生物学的研究としては、935 MHz の電磁界ばく露によるヒトリンパ球への遺伝子障害の有無に関する in vitro 研究、50 Hz 電磁界ばく露によるヒトリンパ球への染色分体障害、50 Hz 電磁界への間歇的ばく露によるヒト線維芽細胞への影響、935 MHz 電磁

界のばく露によるヒトおよびマウス培養脳細胞への影響などが行われた。

2.5 豪州国放射線防護原子力安全庁(Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, ARPANSA)

Roy 氏は政府が 2009 年まで電磁界エネルギー(EME)研究予算を年 100 万ドル計上すると述べた。この予算は無線周波電磁界の健康影響の研究と広報プログラムを支援し、電磁エネルギー公衆衛生問題委員会が調整を行い ARPANSA によって運用される。携帯電話と基地局およびその他の通信機器の健康影響に関する研究と一般住民への広報に助成される。オーストラリアの研究プログラムは国家保健医療委員会(NHMRC)が監理し、年 70 万ドルがオーストラリア国内および国外の無線周波電磁界の生物学的影響研究へ助成される。最近終了した研究としては、INTERPHONE 国際研究のオーストラリア実施分、携帯電話関連電磁界ばく露と脳の反応、睡眠や生物時計への影響に関する研究、携帯電話の長期使用による視覚および聴覚への影響(Blue Mountain Eye Study)、携帯電話関連電磁波への人感受性研究がある。これらの結果は ARPANSA のホームページ(http://www.arpansa.gov.au/eme_pubs.ht)に掲載されている。

3. 各国の基準および政策の動向

3.1 ロシア

Grigoriev 氏はロシアにおける安全基準の標準化作業の現況について報告した。WHO のホームページに掲載されている最大許容量に関するロシアの基準データベースには 2003 年以降変更はない。この基準の基礎は 10 年以上も前に導入されたものである。新たな職業および一般住民への電磁界ばく露ばく露規制は「SanPiN 2.5.2/2.2.4.-198906 Electromagnetic fields on swimming vessels and marine structure 環境安全基準」が保健省により認可され、2006 年 5 月より実施されている。電力用の 50 Hz の電磁界への一般住民へのばく露基準に関する草稿が保健省で裁可された。ロシア非電離放射線委員会(RNCNIRP)が 2006 年 9 月に審議することになっている。安全基準の標準化にかかわる立法手順は 2003 年から改正された。技術的な規制に関する連邦法によれば、2010 年以降にはすべての環境衛生基準(SanPiNs)は技術的規制法に変更されることになっている。保健省の見解では、電磁界に関する現況の安全基準は一般住民に対し十分な保護を保障するものであり、その遵守は技術的に可能なので、改訂する必要はないとしている。

3.2 ニュージーランド

Predergast 氏はニュージーランドの電磁界ばく露基準について報告した。昨年 1 年にはばく露基準および指針に関しての改正はなかった。政府は、オーストラリアの無線周波電磁界測定基準(ニュージーランド 6606:1990 Prt2 と一致している)を再検討する立場にあるオーストラリ

ア基準諮問機関によって始められたプロジェクトの進捗状況に期待していたが、これはオーストラリアに適應される特質性の強いものに終わる気配が濃厚となったことでその期待感は薄れた。必要性が生じた時に導入される規制である危険な可能性のある非電離放射線の放出源を制限する放射線防護法の改正にはほとんど実質的な進展がみられなかったが、ようやく草案作成には本腰を入れている。環境省は無線周波電磁界領域の通信機器および電話線の環境基準導入に関する実効性を調べる試験研究をほぼ終えた。これに基づく基準は資源 (Resource) 管理法下の規制という形をとることになるが、さらなる進展が政府に認められればばく露規制も内包されるようになる。WHO 国際電磁界プロジェクトによる極低周波電磁界の環境保健クライテリア (EHC)、科学的不確実性下における公衆衛生政策策定枠組み等が発行されれば、これらの基準作成における重要な指針となる。

3.3 イスラエル

Gelberg 氏は 2005 年 12 月に制定された新たな非電離放射線法 (No 5766) について説明した。この法律は非電離放射線ばく露影響から一般住民および環境を保護することを目的としており、その発生源、設置、運用、測定法とその実施等に関する規制を定めており、プレコーシオンの原則 (Precautionary principle) に則っている。ICNIRP の指針に基づいてイスラエルではばく露上限値として 1000 mG が採用されるが、これと並行して、電力線から生じる磁界に対するプレコーシオンの原則が採用される方針である。このことは、さまざまな電力関連施設から生じる磁界への住民のばく露を、容認される方法のもとに経済的にも許容される範囲内で、ICNIRP、WHO その他の機関が短期ばく露とその影響について定めた許容上限である 1000 mG を下回る、可能な限り低いレベルに下げることが企図している。予防的理念の採用は、十分な証拠がないとはいえ、長期的ばく露による健康障害を考慮してのことである。この法は以下に示す 6 の章と追記から成る。法の目的、定義、規制、監督、戒告と罰則、方策である。非公式ではあるが英語版が環境保全省のホームページに掲載されている。

4. 報告と討議事項

4.1 WHO/NIOSH 文書

Deventer 女史は、WHO との協力のもと米国産業安全保健研究所 (NIOSH) が作成した電磁界への職業ばく露についての文書の草稿を示した。この文書の目的は、職業的ばく露環境に対する措置と改善方策について情報提供を行なうとともに指針を示し、また職業ばく露から起こり得る障害を予防する方策を提案することにある。以下の内容から成る。概説、静磁界および時間的変動磁界の作用、極低周波と無線周波電磁界のばく露測定、電磁界ばく露に関する ICNIRP と IEEE の指針、さまざまな発生源からの代表的なばく露事例の詳細、技術的、行政的、プレコーシオンのばく露制御の基本的な考え方、電磁界ばく露対策の具体的方策 (責任の種類と所在、監

督当局と執行機関、ばく露評価、ばく露制御、医学的調査、教育と研修)である。初稿は 2006 年 1 月に完成し、最終的な文書は 2007 年春の予定となっている。

4.2 無線通信に関する地方自治体向け冊子

Roy 氏は、地方自治体向けの無線通信に関する新たな冊子について報告した。草稿段階では以下の事項から成っている。概括、無線通信技術、健康影響、住民の関心とリスクの認識のギャップの解消、まとめ、Q & A である。現時点では次の項目も技術的捕捉として掲載してある。国際的ばく露基準、ばく露、基地局の設置に関する事例研究、その他の情報である。

4.3 ファクトシート

Ohkubo 氏は、科学的事実・情報報告書の概説を行った。WHO の国際電磁界プロジェクトでは電磁界と公衆衛生に関してこれまでも多くの文書を発行してきたが、現在 15 の言語に翻訳もされている。この 1 年の間に新たに 3 つの文書がホームページ (<http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/factsheets/en/index.html>) に掲載された。電磁界過敏症 (No. 296)、静電界および静磁界 (No. 299)、基地局と無線通信 (No. 304) である。

4.4 電磁界の規制に関する歴史的経緯

Kandel 氏は、過去 20 年間の極低周波電磁界の規制に関する国際動向調査について説明した。この調査研究の目的は、WHO 国際プロジェクトに参加するすべての国における現在の規制状況を理解するためには、過去 20 年の各国の動向を把握する必要があるという点にある。各国間の施策の違い、特に同質の国柄を持つ国家間における規制の収束傾向、そして施策の変化を生んだ背景、特に契機を見極めることに焦点を当てる意向である。各国からの国際諮問委員会委員に対し、この調査への協力と調査票への記載が要請された。

4.5 WHOのホームページの更新

Deventer 女氏は、WHO からの発行文書とホームページの更新について報告した。この 1 年間に 3 本の科学論文が専門誌に掲載された。

- L. Kheifets, M. Repacholi, R. Saunders, T. E. van Deventer. “Sensitivity of children to electromagnetic fields,” *Pediatrics* August 2005.
- L. Kheifets, J. Sahl, R. Shimkhada, M. Repacholi. “Developing policy in the face of scientific uncertainty: interpreting 0.3 μ T or 0.4 μ T cut points from EMF epidemiologic studies,” *Risk Analysis* August 2005.
- L. Kheifets, T. E. Deventer, G. Lundel, J. Swanson. “Le Principe de precaution de les champs electriques et magnetiques: mise en oeuvre et evaluation,” *Environment, risques et sante* January-February 2006.

学術書として1章分の分担執筆があった(2006年9月発行予定)

- ・ T. E. Deventer, D. Simunic, R. Repacholi. “EMF Standards for human Health,” in Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields, 3rd ed., F Barnes and B Greenebaym eds.

その他の出版物としては2冊の翻訳本があった。

- ・ Risk Handbook のブルガリア語とポルトガル語の翻訳版。

また、「健康面からみた電磁界の基準作成の枠組み」および「電磁界防御に関するモデル法令」の新たな2書が出版され、その内容は国際プロジェクトホームページからダウンロードできる。各参加国の今年の活動とその情報に関する各国の問い合わせ先は逐次更新されている。

4.6 電磁界に関する小児対象ネット学習プログラム

Ng氏は、電磁界に関する小児対象ネット学習プログラムについて説明した。このプログラムは小児と青少年(15~16歳)に対して電磁界に関する科学的事実と健康についての情報提供を主眼としている。電磁界や携帯電話技術が小児にどの程度理解されているかをネット上で世界規模に調査するプロジェクトがスタートした(<http://radiology.um.edu.my.emfsurvey>)。この調査は学習前の知識の把握と学習で焦点を当てるべき項目を明らかにし、このネット学習プログラムを構築する土台となる。こういうコンピューター技術が、小児が教室での学習で何をどのように学んだらよいかについても多くの改善をもたらしたことは知られている。このネット学習プログラム計画では学習効果を上げるために以下の4本柱を立てている。(1)学習速度と学習内容の順序を自ら決められるような自律学習。(2)アニメを用いたデモと自身で採点するミニテストを多用する双方向性とフィードバックの確保。(3)日常的で家庭にもある題材や機器に言及したり例えたりすることによって仮想でない現実性を持たせる。(4)掲示板や返信機能などの設置によってグループ参加感をもたせる。このホームページの言語やデザインは科学的な質を落とすことなく対象とする小児に魅力あるものとなるよう工夫した。プログラムには対話形式のアニメと音楽、ゲーム、パズル、科学的事実、資料、掲示板を用意した。試作段階ではあるが、次のサイトと見ることができる。<http://radiology.um.edu.my/emf/>

4.7 教育用ホームページ

Veyret氏は、電磁界研究に取り組もうとする若い研究者向けの教育を目的としたホームページについて説明した。目標としては健康影響評価に有用な研究の醸成にある。WHO国際電磁界プロジェクトの電子学習パッケージとして直流からGHzまですべての周波数をカバーすることを目指している。内容は実験研究、健康影響評価、ばく露基準作成などである。教材の一部はすでに存在するEriceでのコースや欧州のいくつかの大学のものも利用している。質疑や情報交換が行える掲示板等も用意する。

4.8 研究データベースに関する質疑

Ohkubo 氏は、WHO の研究データベースについて説明した (<http://www.who.int/peh-emf/research/database/en/index.html>)。このデータベースは研究者への情報提供用で、WHO 国際プロジェクトの国際諮問委員会での検討から提議された必要とされる研究に関連した、世界中で進行中あるいは計画中の研究に関する情報を提供するためにある。ドイツの FGF (Research Association for Radio Applications) の協力を得て定期的に更新している。8 研究分野に分かれているが、新たな分野として社会科学分野を加えることになった。WHO の進行中研究のサイトを補完するものとしてドイツの EMF-Portal というサイトがリンクされ、刊行論文探索のデータベースとして極めて有用となっている。この EMF-Portal は Aachen 大学病院の電磁界影響研究所 (FEMU) によって立ち上げられ、FGF から資金援助を受けている。現在、約 1 万件の研究が収載されている。

4.9 基準に関する国際データベースの更新

WHO の国際 EMF プロジェクトでは、D. Simunic 教授の協力を得て数年前から基準に関する国際データベースを作成してきたが、この度教授により更新が行われた。 (<http://www.who.int/docstore/peh-emf/EMFStandards/who-0102/Worldmap5.htm>)。全大陸の 50 か国以上が掲載されている。その 3 分の 2 は ICNIRP の指針 (1998) を導入している。電磁界基準に関する各国の原公文書をできれば英訳をつけて掲載するよう各参加国へ要請している。約半数の国では電磁界に関するハンドブック、報告書、パンフレットあるいは科学冊子という形で情報提供を行っている。

5. 基準と施策

5.1 電磁界基準、施策、モデル法令作成の枠組み

Deventer 女史は、先般発行された冊子について説明した。「健康影響に立脚した電磁界基準の作成の枠組み」および「電磁界防御のモデル法令」である。これらの文書は国際諮問委員会でこれまで数度に渡って検討を重ね、印刷も済んでいるということで、より議論の多い、これまで「ブレコーション的施策」と呼ばれてきた施策枠組みについての討議に譲ることにし、Repacholi 氏に司会を委ねた。

この枠組みについてはこの委員会に先立つ 5 月に国際諮問委員に草稿を回覧して意見を求めたが、多くのコメントが寄せられた。それを踏まえて作成した新たな草稿を今回の国際諮問委員会での討議資料として 6 月 7 に配布した。本来の予定である 6 月 8 日の討議までに各委員が十分に吟味する時間がないなか、各委員からの意見は 2006 年 6 月 15 日まで延長して受け付けることにした。この枠組みでは、科学的不確実性下において妥当かつ現実的な施策選択肢を用意することを各国に勧めることを主眼とした。科学的不確実性下では便益の同定が難しいので費用便益ではなく、費用効果という観点から利害共有者の参加を求めながら施策の評価を重ねていくのが

この枠組みの提案するところである。

6. 進行中の研究

6.1 この1年の進捗状況のまとめ

Veyret 氏は、過去1年間に査読雑誌に掲載された電磁界に関する論文の研究内容のまとめを行った。疫学研究および電磁界過敏症を除く非電離放射線領域の全研究を精査したところ、WHOの優先的研究課題はほぼすべてがカバーされていると言えた。実験における無線周波電磁界ばく露装置システムの質の向上はなお進展中である。実験研究の約半数は再現研究であった。電磁界の治療における効用に関する研究は増加しつつある。

6.2 INTERPHONE 研究の進捗状況

Cardis 女史は、INTERPHONE 国際研究の現状について述べた。データ収集とデータ信頼性の検証（携帯電話のみについて）は終了した。症例は神経膠腫 2,700 例、髄膜腫 2,400 例、聴神経鞘腫 1,100 例、耳下腺腫瘍 400 例である。解析と論文が進行中であるが、以下の国では学術誌に掲載済みである。デンマーク：Christensen 他、2004 年；スエーデン：Lonn 他、2005 年；ドイツ：Shuz 他、2005 年；英国：Hepworth 他、2006 年。携帯電話を使用する小児を対象とした新たな「小児 INTERPHONE」コホート研究が提案された。パイロット研究を計画し本研究に先立ち実施する必要性がある。

6.3 COSMOS:携帯電話使用者の国際コホート研究

Toledano 女史は、COSMOS プロジェクトについて説明した。このプロジェクトの目的は18歳以上携帯電話使用者の国際コホート研究を立ち上げ、携帯電話使用状況を調査した上で25年間の追跡期間において、この間の症状や兆候、死因、がん発生率およびその他の健康状況を把握することである。スエーデン、デンマーク、英国、フィンランドの4か国が参加している。大規模なコホート研究では広い範囲の事象を調査対象とすることができる。また、コホート研究では、研究進行中に他の研究で新たに提起されてきた要因を調査事象として取り込んでいくことができるのみでなく、技術進歩による機器の進化（デジタル機器、3G などの新たな変調）によるばく露変化にも対応できる。前向きコホート研究ではさらにサーベイランスとしての役割も併せ持ち、症例対照研究とちがって記憶バイアスや選択バイアスを避けることのできる利点がある。参加国が表明されパイロット研究も実施されたので、国際コホートが早急に形成され、現時点でのばく露状況に変化を来す前にばく露評価を実施しておく必要がある。INTERPHONE 研究の結果いかにかわらず、優れたリサーチクエスチョンを設定し、まれな疾患との関連も検証できるよう研究対象数を大きくするために国際協調を求めたいところである。

6.4 仏露研究プロジェクトの進捗状況

Veyret 氏は、WHO が監理した上での、ロシアのマイクロ波による免疫への影響を再現性を確認するための仏露研究プロジェクト（ボルドー・モスクワプロジェクト）について説明した。このプロジェクト研究の目的は、マイクロ波への長期にわたる低レベルばく露による免疫機能への影響をラットの脳を対象に研究するもので、脳組織での免疫機構の変化に加え催奇性も調べることにある。このプロジェクトは、マイクロ波が照射されたラットの脳組織の抗原構造が損壊したという以前のソビエト連邦時代に行われた研究の確認でもある。かつてのこれらの研究結果がソビエト連邦のマイクロ波の基準作成の基礎となり、今でもロシアや中国の基準の基盤を成しているのである。

これらの研究の再現性実験がロシアとフランスの研究者の共同研究として 2005 年から 1 年かけて行われることになり、実験計画がフランス・ボルドーの ENSCPB・PIOM 研究所とロシア・モスクワの国立研究センター・生物物理研究所間で合意に達し、研究資金もすでに得られた。

7. 今後の研究

7.1 電磁界分野の研究

研究の重複を避け、かつ重要な問題点をくまなくカバーするためには、全地球規模での国際協調が大切である。この点を踏まえ、国際電磁界プロジェクトは、各国および国際研究助成機関との協力体勢のもと全世界規模での国際共同研究の場を用意し、実施中および企画中の研究に関する情報交換を促進してきた。多くの主要研究助成機関は助成に際し WHO の推奨研究プランを参考にし、1997 年以来 2 憶ドルを超える研究費を WHO の優先的研究計画に沿った研究に注いできた。国際諮問委員会に求められた課題として、「WHO 優先的研究をいかに推進すべきか」、「WHO 優先的研究計画の実際の研究への影響をどう評定するか」、「どの程度深く研究の優先度調整に関わるべきか」があった。

電磁界の与える健康影響に対する一般住民の関心と科学的側面性から、いくつかの国では研究プロジェクトが立ち上がり、この問題に関連した研究をサポートするための研究資金団体が設立された国もある。Deventer 女史はその例として以下のものをあげた。

- ・ 英国の MTHR (<http://www.mthr.org.uk>)
- ・ フランスの無線周波電磁界と健康財団 (<http://www.sante-radiofrequencies.org>)
- ・ ドイツのプログラム (<http://www.emf-forschungsprogramme.de>、
<http://www.fgf.de/english/index.html>)
- ・ スイスの機関 (<http://www.mobile-reasearch.ethz.ch>)

7.2 WHO 優先的研究計画（静磁界、極低周波、無線周波）

Ohkubo 氏は、WHO 優先的研究計画について説明した。1997 年に WHO 国際電磁界プロジェ

クトは、電磁界の健康障害の可能性についての研究の調整と促進を計るため「推奨研究プラン」を企画した。電磁界の周波数によってそれぞれ分けた推奨研究プランは定期的に見直され研究の精選が行われてきた。2003年6月には専門家による特別委員会が急遽設置され、無線周波電磁界の推奨研究プランが検討された。2004年6月にはトルコのイスタンブールにて開催された、小児は成人よりも電磁界への感受性が高い可能性があるのではないかというテーマのWHOワークショップの討議を基に推奨研究がまとめられた。2004年1月のプラハでのWHOワークショップ後には電磁界過敏症に関して必要な研究が提議された。2005年6月ジュネーブで行われたWHOワークショップは無線通信と基地局をテーマとし、この課題に必要な研究が討議された。2005年10月には専門家を招聘した特別委員会にて無線周波電磁界についてのさまざまな分野にわたる優先的研究課題案が提議され、これはホームページにて公開されている。「静磁界に関する環境保健クライテリア(EHC)」が2006年4月に刊行され、優先的研究課題にも言及している。WHOの極低周波リスク評価についての文書の刊行に伴い、優先的研究課題も公刊される。

7.3 その他の活動プログラム

Ravazzani氏は、ヨーロッパで進行中および計画中の研究について説明した。まず、電磁界ばく露と健康影響について進行中およびこのほど終了したRTD研究プロジェクトを概括した。電磁界と健康影響に関する研究結果の解釈と今後必要な研究。ECのプロジェクトや活動としては、ADVICE PULSED FIELD、CEMFEC、GUARD、INTERPHONE、PERFORM、RAMP、REFLEX、THZ-BRIDGE、TEST-PRO-SAFETY LIFE(EMF)、EMF_nEAR、EMF-NET、COST Action 281がある。EMF-NETとCOST 281を除くRTD研究プロジェクトの総研究費は約23.5百万ユーロであり、そのうちECが約13.5百万ユーロを供出している。

EMF-NETは電磁界の生物学的影響に関する研究結果の社会への適用についての協調を促す枠組みを形成することを目的としており、労働環境におけるばく露(職業ばく露)に伴うリスクの可能性についてもその対象としている。EMF-NET事業体はそれぞれの団体を組織する41人の代表者からなる。EC(FP5)におけるすべての研究遂行のグループ代表、ヨーロッパ各国レベル(フィンランド、フランス、ドイツ、ギリシャ、ハンガリー、イタリア、英国)での研究プロジェクトの代表、ECのCOST ACTION 281やWHOの電磁界プロジェクトなど国際機関の代表、製造業含む企業の連合協会、各種規制組織、学術団体、労働組合などからの代表である。

次いで、電磁界と健康影響に関する研究に対するEMF-NETの所信について説明し、現時点でもっとも優先して実施されるべき研究に言及した。報告書や文書を含むこの内容の詳細はホームページに掲載されている。(<http://emf-net.isib.cnr.it>)

Leitgeb教授は、COST 281について説明した。COSTは科学技術研究領域欧州連盟“European Corporation in the Field of Scientific and Technical Research”の略語である。ヨーロッパにおける国際研究の企画と実施の調整組織といえる。COSTは研究自体への資金助成はせず、研究調整を支援する。COSTはEUの構成国のみならず他のヨーロッパ諸国も容れている。COST 281

は COST 内の活動の一つであり、その主要な活動目的は、発展する科学技術の健康へ及ぼす影響、特に電磁界へのばく露を生じる通信・情報技術の健康影響への知見を深める点にある。二次的な目的として、すでにある研究データの科学的評価を通じて、電磁界のリスクを管理する立場にある施策立案と意志決定担当者の用に供すること、新興技術の発展に付随する電磁界と健康影響に関するリスクコミュニケーションの基礎を築くこと、そしてヨーロッパにおけるそのような新興技術から生じる電磁界へのばく露状況のデータを整備することである。現在、25 か国が規約を批准し積極的な参加を表明し、約 25 の機関がこの活動に参加している。加えて、WHO、ICNIRP、EBEA などの国際機関や日本、韓国、オーストラリア、南アフリカ、米国などの政府機関や研究機関とも契約を結び協調を計っている。

8. 事務連絡

Repacholi 氏が事務的側面について報告した。2006 年末までに 10 の学会等が予定されていること、来年には数冊の冊子が刊行予定であること、今後インターネットを利用した遠隔教育を進めることなどである。次いで、活動資金についての説明があった。現在、多少の資金が残っているが、まもなく尽きると思われる。まだ進行中のプロジェクトを完了させるためには協力して資金獲得に努める必要がある。次回の国際諮問委員会は 2006 年 6 月を予定している。自身は 6 月末で退任し、WHO 電磁界プロジェクトの責任者として今後は Deventer 女史が引き継ぐことになる。

9. WHO 環境リスク評価

9.1 工程と手順

Deventer 女史は、WHO 環境リスク評価の工程と評価について概要を述べた。電磁界を生じる技術によってもたらされるいかなる健康リスクに対する評価も、すべてこの国際電磁界プロジェクトがカバーしなければならない。それゆえ、この国際電磁界プロジェクトの主要な目標の一つとして、無線周波電磁界、極低周波電磁界、静電磁界の健康リスク評価を実施し、それぞれ環境保健クライテリア (EHC) として公刊することが上げられる。これらの環境保健基準モノグラフは、各国政府機関および国際機関がリスク評価を行い、リスク管理を実行に移す際の後ろ盾となるものである。しかし、あくまでリスクの科学的評価の集大成であり、規制や基準値作成への推奨基準ではない。規制や基準設定は各国政府および自治体の権限に委ねられるべきものである。ではあるが、電磁界の環境保健クライテリアは、ICNIRP などの国際機関が現存するばく露基準などを再検討する際の科学的基盤を与えるものではある。

9.2 静電磁界

Rongen 氏は、先頃発刊された静電磁界の環境保健基準モノグラフを概説した。この環境保健クライテリアでは、静電界および静磁界へのばく露の健康影響の可能性について論じられている。

しかしながら、静電界ばく露における健康影響を調べた動物実験および人対象の研究はわずしか見あたらない。このEHCで評価の対象とした研究の大半は静磁界へのばく露影響のものである。完璧を期すため、磁気共鳴画像装置(MRI)の磁界へのばく露影響研究も対象に加えた。静電磁界環境保健基準モノグラフは以下の内容となっている。物理、生物物理、生物学、リスク解析および推奨意見(Recommendation)である。慢性的あるいは潜伏期間が長い健康影響に関しては、何らかの結論を述べるに足る十分な疫学的ないしは実験研究による証拠はない。IARCは2002年に、静電磁界の発がん性についてはヒトに関しては不十分な研究結果しかなく、動物実験でも論じるに足るデータはないと裁定している。したがって、ヒトへの発がん性についての分類はできていない。テスラレベルでの静磁界と磁界勾配への短期ばく露ではいくつかの急性影響が出る。実験的に証明されたわけではないが、計算から導かれる誘導電流の効果として3種類の影響の可能性はある。各国政府機関は、静電磁界の本意でない影響から住民や作業を守るための施策を実施すべきである。特に、確立されている静磁界の急性影響への対処は必要である。慢性的あるいは潜伏期の長い健康影響に関する十分な情報の蓄積はないので、WHOの提案するプレコーシヨンの視点に立った方策として住民や作業員へのばく露制限がは一考に値する。

9.3 極低周波電磁界

Rongen氏は、極低周波の環境保健基準モノグラフの進捗状況を説明し、極低周波のリスク特性に焦点をあてて解説した。このリスク特性の内容は、リスクを監理する立場にある人たちが意志決定をする際に必要な科学的事実と基本理念を提示するためにある。疫学研究結果からある特定の疾患に関するリスク特性を特徴づける最もよい指標は、その疾患の何%が対象とするリスク要因によって生じるかちう寄与割合(Atributable fraction)である。この場合、因果関係を前提とする必要はある。小児白血病と極低周波磁界ばく露の疫学研究データの解析においてはその結論づけに多くの限界があるのだが、問題はこの前提の成立の可否にある。もしこの前提が成立しない、すなわち磁界が白血病の原因でないとなれば、生活環境レベルでの極低周波磁界のリスクは実質ゼロとなり、公衆衛生上の危惧とはなり得ない。地球規模で考えてみると、この寄与割合から計算される極低周波磁界が原因とされる小児白血病の症例数は年100~2,400例の範囲となり、2000年での全世界での1年の発生数合計約49,000のほんの一部ということになる。

10. 極低周波電磁界への防護策

10.1 SAGA(Stakeholder Activity Group on ELF and EMF、極低周波電磁界の利害関係者活動団体)

極低周波電磁界への低レベルの長期的ばく露の健康影響については、科学的不確実性下にあるといえるので、ばく露基準以下のばく露水準にある場合に何らかのプレコーシヨンの措置をとるか否かは難問といえる。この問題設定は議論の沸騰するものであり、これまでも多様な意見が噴出しているため、政府に対してどう対処すべきか具申する制度的仕掛けとして、多様な利害関

係を包含する活動が組織化された。この活動団体は SAGA として知られている。英国の Hilary Walker 氏が言い始め、2004 年後期に設立されて全英国からの付託を得ている。活動資金は政府保健省、小児白血病慈善基金 (Children with Leukemia) および電力業界が等分に拠出している。2004 年 11 月に活動目標が利害関係者間で以下のように合意された。極低周波電磁界へのプレコーシヨンの見地に立った対処として可能な方策を探り検分を行うことを目的として多様な利害関係者を組織化すること、およびプレコーシヨンの見地に立った対処についての実際的な推奨案を提案することである。現在約 40 人の利害関係者代表から成る。政府 (保健、住宅、電力関係)、企業 (電力、建設、製造)、市場規制機関、専門家 (建築監理、工学)、社会活動グループ、大学教員そして第三者的な立場の人である。これらの参加者の間で、透明性と公開の精神に基づいて論議することで意見が一致し、何を対象とすべきか、どんな問題があるか、どのような解決策があるか等について共通の理解と今後の方向性を共有し、どの点は合意できるか、合意出来ない点はどこにありそれはなぜかを明確にし、他の機関や団体との会話と協調を促進し、綿密な日常的作業を推進するために必要に応じて作業委員会を設置すること等が確認された。SAGA から政府への報告の時期は 2006 年 8 月の予定になっている (<http://www.rkpartnership.co.uk/saga/>)。

10.2 オーストラリアの極低周波基準の経済への影響評価

Roy 氏は、オーストラリアにおけるプレコーシヨンの方策について説明した。連邦政府の保健と高齢化社会を担当する機関である ARPANSA は現在、機関内の内部指針の検討を行っており、0~3000 Hz の低周波電磁界の指針の改定を目指している。最終目標は低周波電磁界の一般住民へのばく露および職業ばく露に対する科学的方法に基づいたばく露制限を提案することであり、その上で既知の健康障害に対する防護を計っていく。この評価の対象となるのは主に高圧電流を発生させる、あるいは使用する電気・電力装置にかかわる企業である。

世界中で、科学的不確実性下におけるリスク管理に直面する政府内、政府外の関係者の間で、「プレコーシヨンの立場に立った方策」への関心と動きが高まっている。安全を最優先するという社会的要請を至極最もなものとしても、経済的コストが高くない方策しか取りえないということもまた要請される。既知のリスクに対する各選択肢の評価は、しかしながら科学的、経済的、技術的知識と情報に基づいて行わなければならない。この評価においては、目標とするばく露量の低減値や健康障害の予防に到達する上で最も効率的な方策を保健経済学的解析法で探さなければならない。ここに費用便益解析の 1 例がある。オーストラリアの 0~14 歳小児の小児急性リンパ性白血病の年発生率を 10 万人当たり約 4 人 (この疾患死亡率は 20%なので) とし、因果関係があるものとする、3 年間に 6 mG の TWA ばく露では $0.2 \times 4 \times 10$ マイナス 5 乗のリスク、すなわち年 1 小児 1 mG あたり 0.44×10 のマイナス 6 乗となる。この計算結果から、1 人の小児の死を仮に 1000 万ドルとすると、1 人の小児 1 年間に 1 mG 分のばく露量を回避するのに 4 ドルかかることになる。このほかばく露量の低減量とそれに要する費用の関係を解析する手法と

その例も紹介した。

10.3 オランダの極低周波施策:解析と意志決定

Rongen氏は、オランダで最近導入された極低周波電磁界のプレコーシヨンの施策について説明した。リスクに対する機敏な対応策として、送電線、携帯電話基地局およびラドンの安全性に対する懸念を顧慮して環境省から草案が出され、議会にて承認された。2005年10月、環境大臣から地方自治体に対し通達が出され、小児が長期に空中の高圧送電線からの磁界にばく露するような新たな状況が生じる事態は極力さけるよう努力すること、社会的な損益を十分検討すること、そしてこの施策は直接利害を共有する人たちとの十分な話し合いを経て具体的な実施内容を定めることを伝えられた。しかしながら、実際そのような状況下にある住民は十分な防護策がとられたとは考えていない。地方自治体は固定資産の価値の下落に対して27,000ユーロの補償を支払っている。

表2 WHO、その他の機関によるセミナー、ワークショップ、学会
(2006年実施および2007年に予定されているものに限定)

年月	場所	テーマ
2006年		
3月	ベルリン(ドイツ)	ICNIRP電磁界線量・生物物理・ばく露指針
3月	ケンブリッジ(英国)	電磁界研究の進歩
4月	グラーツ(オーストリア)	電磁界技術の進展
4月	マデイラ(ポルトガル)	電磁界と環境保健
5月	パリ(フランス)	第2回欧州IRPA会議
6月	カンクン(メキシコ)	生物学的電磁界会議
8月	ニューヨーク(アメリカ)	IEEE学会医学工学・生物部会
9月	パリ(フランス)	環境疫学とばく露国際会議
9月	ロストック(ドイツ)	無線周波電磁界と生物の干渉ワークショップ
9月	ルビュヤナ(スロベニア)	電磁界国際ワークショップ
9月	ザグレブ(クロアチア)	電磁界国際ワークショップ
10月	サロフ(ロシア)	医学・生物学・農学・生態学と物理物質
10月	イラクリオン(ギリシャ)	電磁界の生物学的影響
11月	ブリュッセル(ベルギー)	携帯通信と環境保健
11月	エリチェ(イタリア)	電磁界の生物システムへの影響
11月	シドニー(オーストラリア)	オーストラリア放射線防護学会
11月	シュツットガルト(ドイツ)	小児の電磁界感受性の研究
2007年		
2月	ミラノ(イタリア)	ICNIRP/EMF-NET/WHO電磁界リスク評価
4月	ポルドー(フランス)	欧州電磁界生物学学会
5月	ストレーサ(イタリア)	電磁界リスクコミュニケーション
6月	クアラルンプール(マレーシア)	電磁界の生物・医学・基準・安全管理
6月	金沢(日本)	電磁生物学会(BEMS)
6月	ルビュヤナ(スロベニア)	地中海医学生物学工学情報学会
10月	ヨハネスブルグ(南アフリカ)	携帯電話シンポジウム

2 生体電磁環境国際シンポジウム

平成18年11月8日に独立行政法人情報通信研究機構（NICT）主催、総務省、国際非電離放射線防護委員会（ICNIRP）、世界保健機関（WHO）共催の「電波の安全性に関する国際ガイドライン」というテーマのシンポジウムが東京で開催された。そのプログラムを以下に示すとともに、世界の動向を探る上で有用な内容について概説する。

国際電磁環境国際シンポジウム - 電波の安全性に関する国際ガイドライン プログラム

13:00-13:15	開会挨拶（独）情報通信研究機構	理事長	松島裕一
13:14-13:25	総務省挨拶 総務省総合通信基盤局	電波部長	河内正孝
13:25-15:30	国際非電離放射線防護委員会（ICNIRP）の活動の紹介		
	全体の活動概要	ICNIRP 議長	Paolo Vecchia
	疫学研究とガイドライン	疫学委員長	Anders Ahlbom
	生物研究とガイドライン	生物学委員長	Bernard Veyret
	物理工学研究とガイドライン	物理工学委員長	Rudiger Matthes
	WHO とガイドライン	名誉議長	Michael Repacholi
15:50-17:30	パネルディスカッション		
	WHO の取り組みについて	WHO 専門研究員	大久保千代次
	日本の研究について	九州大学教授	上野照剛
	NICT の研究について	NICT EMC	山中幸雄
	小児の電波吸収特性について	名古屋工業大学教授	藤原 修
	国民生活と電磁波問題	主婦連合会副会長	山根香織
	電磁波過敏症について	ICNIRP 副議長	Maila Hietanen
	予防原則について	ICNIRP 議長	Paolo Vecchia

2.1 挨拶（松島裕一）

情報通信研究機構は明治29年（1896年）に逓信省電気試験所の無線通信研究に端を発し、平成16年から現在の組織となった。情報通信に関する研究を総合的に研究する国内唯一の公的機関で、30近く電波の環境問題について研究している。電波防護に関するガイドラインを適切に運用する技術の確立を目指している。一言でいえば安全の評価である。このシンポジウムは、最近の研究動向やガイドラインの考え方を国内外の専門家を招いて討議する機会とした。

2.2 ICNIRP の活動（Paolo Vecchia）

1992年に設立された専門家から成る独立機関で非電離放射線の防護に関する領域を対象とする。研究論文の検討を通じて健康影響の評価、指針の作成と再評価、基準値の作成などを行って

いる。

2.3 疫学研究とガイドライン (Anders Ahlbom)

疫学の意義と有用性、実験医学との研究の連携、電磁界の健康影響についての研究成果を述べた。極低周波電磁界ばく露では実験研究では確たる証拠は得られていないが、小児白血病のリスクが2倍前後となるというかなり確かな関連がみられている。この結果をどう指針に活かしていくかが問われている。無線周波電磁界では携帯電話、基地局、職業ばく露が問題だが、脳腫瘍などの確かな関連を示す結果は得られていない。したがって現在の指針の変更は不要だが、スウェーデンなどいくつかの国では、プレコーシヨンの立場の見地から不必要なばく露を減らすよう勧奨されている。

2.4 生物研究とガイドライン (Bernard Veyret)

レーダー、テレビやラジオ放送、送電線などについての研究が行われてきたが、1990年代初頭から国際機関、研究所、企業による携帯電話の研究が増えた。ヨーロッパでは現在、年1500万ユーロの研究費が投入されている。熱影響が唯一確認されている生体影響だが、その他の影響の研究が大半を占める。細胞、動物、人対象の研究が進んでいる。無線周波電磁界に関しては2008年にIARCによる発がん性分類とWHOによる環境保健評価が、2009年にICNIRPによる指針の改定が予定され、平行してIEEEの指針の改定も進んでいる。

2.5 物理・工学研究とガイドライン (Rudiger Matthes)

担当分野として、質量や電磁界の性質、生物物理学的影響評価、線量測定、人体モデルを用いた頭部や全身のばく露評価、電子製品の放射線量測定、基準値の作成とその遵守確認法の開発などがあり、それらの指針作成を行っている。

2.6 WHOとガイドライン (Michael Repacholi)

WHOはすべての人の健康を守るため、同一か同等のばく露制限値や防護対策がとられることを推奨する。各国がICNIRPの指針を導入するのがよいが、独自の指針を創設するのであれば、科学的根拠に基づいた電磁界基準作成の枠組みを先に刊行したばかりなので、それを参考にしてほしい。ICNIRPは非電離放射線防護に関する最も重要なWHOに正規に承認されたNGO機関であり、国際電磁界プロジェクトの主要協力機関でもある。WHOはその基準や指針をWHO加盟192か国に推奨している。現在30か国以上がそれらを採用している。WHOの環境保健基準モニタリングの初稿も依頼しており、その後WHOのタスクフォースである検討委員会の検討を経てWHOで正式に承認される。電磁界国際プロジェクトには8国際機関が協力しており、それぞれが各分野の役割を担当し貢献している。

2.7 WHOの取り組み (Chiyoji Ohkubo)

国際電磁界プロジェクトの組織は事務局に加え、国際諮問委員会、研究調整委員会、基準調和委員会からなり、これらに国際機関、協力研究機関、各国政府代表が参画している。その目的は健康影響に対する国際的対応、研究評価と進行中研究の把握、更に必要とされる及び知見の空白を埋める研究の奨励、環境保健クライテリア (EHC) 作成と発行、国際統一基準の奨励、防護施策へ向けての情報提供と助言である。これらの目的達成の一助として、科学的事実および情報文書を作成、公開している。健康影響評価として、2006年に静電磁界についてのモノグラフを刊行し、2007年には極低周波電磁界、2009年までには無線周波電磁界のモノグラフの刊行を予定している。

2.8 日本の研究について (上野照剛)

日本では生体電磁環境研究推進委員会を組織し、医学的および工学的視点から取り組んでいる。主な活動として実験研究の推進、国際協力、啓蒙などを行っている。研究では携帯電話へのばく露による健康影響、国際協力では国際ワークショップの開催への協力やWHOのプロジェクトへの参加、啓蒙活動では報道発表、冊子作成、講演会への協力などがある。2001年には中間報告書を作成し、電波防護指針値以下では健康への悪影響の証拠はないこと、現時点では電波防護指針の改定の必要はないことを述べた。2006年度末までにはこれまでの研究成果を報告書としてまとめる予定である。

2.9 NICT(情報通信研究機構)の研究について(山中幸雄)

職員数約500人、外部研究者約400人、予算総額約600億円で当テーマの領域では電波の環境問題に関する研究を推進している。研究分野として電子機器からの不要電波の放送・通信への影響、通信装置からの電波の電子機器への影響、放送・通信等の電波の人体への影響がある。生体への研究としてばく露量の正確な測定技術の開発、携帯電話や基地局が電波防護指針を満たしているか否かの評価技術の開発、電波防護指針の妥当性確認のための医学・生物研究がある。電波ばく露量を正確に評価するために人体の内部構造を模擬した数値人体モデル(ファントム)を開発し、さまざまな姿勢、妊婦モデルを開発中である。日本人頭部モデルでSAR分布を作成し、電波防護指針値を満たしているか検討している。ばく露実験装置の開発にも取り組んでいる。

2.10 小児の電波吸収特性について (藤原 修)

生体が単位体重あたり吸収する電波電力を熱発生源としてW/kgで表し、これをSAR(Specific Absorption Rate)とよび、電波防護指針の規制値として利用される。1992年の基礎指針では全身平均0.4W/kg未満とされる。1~3W/kgで温度上昇などヒトへのなんらかの影響が観察される。この管理指針は単純形状の人体モデルを対象として構築されたが、小児を含むさまざまな形状の人体モデルを開発し、一般環境での管理指針である0.2mW/平方cmの電力密度での

SAR値を周波数との関係で計算した。30年前の計算知見との差は20~30%で、現在の防護指針の元になった値とさほど変わらない。小児の年齢によって算出されたSAR値は異なってくるので、今後全身・局所ばく露に対する詳細計算を計画している。

2.11 国民生活と電磁波問題（山根香織）

主婦連合会は1948年に結成され、消費者の声を政府や企業に反映させ、消費者への啓蒙運動を行ってきた。最近の消費者の不安は製品による事故の多発、耐震問題、BSEなど食の問題、多重債務や契約トラブル、地球温暖化等がある。電波では健康影響、日本の規制、小児の携帯電話使用、電子タグなどに不安を抱いている。国や大企業への疑問を感じているが、リスクコミュニケーションの理解は進みつつものの、専門家にはこれらの不安を理解していただき積極的な情報提供を望む。国際的な機関の安全評価、研究成果やガイドラインの存在や改訂など広く知らせてほしい。

2.12 電磁波過敏症について（Maila Hietanen）

電磁界の脳機能や循環器への影響、睡眠障害等が人対象に進められているが、現時点で最終的な結論は得られていない。電磁界へのばく露で頭痛、めまい、倦怠感、吐き気、発赤などを訴える人が多くの国で報告されている。これらの人での実験室での電磁界ばく露と客観的症状の出現観察研究では関連性を示す結果は得られず、因果関係があるとは言えないと結論されている。

2.13 プレコーシオンの原則について（Paolo Vecchia）

Precautinary principle（プレコーシオンの原則）とは、科学的不確実性下ではあるが深刻なリスクのある可能性があり、最終的な科学的結論を待たずに何らかの対処を行うというリスク管理のあり方である。電磁界では、極低周波は小児白血病のリスクに関して発がん性の可能性はあり得るという分類に属し、無線周波電磁界では寿命が短縮したり、がんを発生させたり促進するという明確な証拠はない。対処は、望む防護レベルに比例的で、公平に、他のリスクに対する方法と違いはなく、費用便益分析に基づき、条件付とし、総括的なリスク評価への科学的証拠を得る責任から逃れない性質のものでなければならない。イタリアでの費用便益解析によると、仮に0.5 μ T以上の極低周波磁界に発がん性があり小児白血病リスクを高めるとすると年500例のうち1例が原因とされ、送電線からの磁界を0.5 μ T未満に低減するには250億米ドル要する。一般住民への電磁界ばく露規制の是非は、電磁界を発生する機器が無線通信、エネルギー、安全などに与える恩恵も考慮する必要がある。

3 日韓EU米生体電磁環境ワークショップ

2006年11月14日に東京にて総務省の主催により第4回日韓EU米生体電磁環境ワークショップが開催された。このワークショップは1997年に日韓が開催したワークショップを発展させたもので、日、韓、EU、米が持ち回りで開催する無線通信を中心とする電波の安全性、防護策、研究についての情報交換の場となっている。

日韓 EU 米生体電磁環境ワークショップ プログラム

10:00-10:05	開会挨拶	総務省総合通信基盤局 電波部長	河内正孝
10:05-10:25	日本における電磁波調査の状況	九州大学教授	上野照剛
10:25-10:45	韓国におけるEMF調査状況	Chungbuk 大学教授	Nam Kim
11:00-11:20	COST281 の論考	(独)電波利用調査会管理部長	Gerd Friedrich
11:20-11:40	IEEE C95.1 の新基準	モトローラ研究所	C-K Chou
13:30-14:00	携帯電話と健康に関する疫学研究	東京女子医科大学教授	山口直人
14:00-14:30	高周波ばく露の細胞生物学的影響	弘前大学教授	宮越順二
14:30-15:00	韓国における生体に関する研究	韓国放射線医学研究所	Jae-Seon Lee
15:00-15:30	身体装着機器の SAR 測定方法	電子無線通信研究所	Ae-Kyoung Lee
15:50-16:10	EMF-NET の役割、目的、活動	生物医学工学研究所	Paolo Ravazzani
16:10-16:30	米国における取り組み	米国 FDA	Abiy B. Desta
16:30-17:00	EMF 研究調整における WHO の役割	WHO 国際電磁波プロジェクト	大久保千代次

3.1 日本における電磁波調査の状況（上野照剛）

1997年に研究者および携帯電話会社から成る20人の無線周波電磁界の生物学的影響に関する委員会が発足し国際協調のもと研究を推進してきた。これまでの日本での研究成果によれば、血液脳関門、学習・記憶、メラトニン合成、細胞や分子等への影響は観察されず、疫学および脳微細循環についてはなお進行中である。現在も、疫学、人観察実験、生理学的研究、細胞・分子研究、線量測定など多数の研究が行われている。代表的なものは INTERPHONE 研究、眼球運動への影響、自覚・他覚症状の出現と因果関係の有無、眼球への障害、脳微細循環、ラットの胎児発育・発達・生殖機能、細胞の分裂・遺伝子形態・機能、SAR 値測定と小児含む人体モデル開発などである。

3.2 韓国EMF調査状況（Nam Kim）

携帯電話および基地局の健康影響に関する国民の関心は高まっている。2006年のアンケート調査によれば、55%は深刻ではないが何らかの影響がある、37%は悪影響がある、7%は分からない、1%は悪影響はないと考えている。何らかの症状が出というのは11%で、聴覚の一過性低

下（60％）、頭痛（53％）、倦怠感（41％）、記憶低下（26％）などが多い。もし悪影響があるとなれば85％は使用時間を減らすかヘッドセットを使用すると回答。無線周波電磁界に関する法改正を国会で審議中で、基地局からの無線周波電磁界の規制、環境測定値の報告を義務づける方向で検討している。研究としては2000-2004年に新規アンテナ開発によるSARの低減、AMラジオ局周辺のがん発生率、細胞による発がん性と遺伝子変異、人免疫機能と自覚症状などが行われた。2005年からの5年計画では1300万米ドルの予算で、これまでの研究の継続に加え、電磁界低減技術開発、リスクコミュニケーションとプレコーシヨンの施策の研究、新たな通信機器の生体への影響研究、学校での極低周波電磁界ばく露と健康影響、室内電磁界の評価技術開発、費用便益解析がある。これらは環境省、商工エネルギー省が主に管轄している。

3.3 COST281 の論考（Gerd Friedrich）

1992年にドイツで国家プログラム（FGF）が開始されたのを皮切りに各国でプログラムが始まり、EUでもこの10年間第5回の枠組みを最初として現在第7回枠組みで進められ、COST281、EMF-NET、REFLEXなどがある。COST281（Cooperation of Science and Technology）は2001年に携帯電話通信の健康影響研究として発足した。欧州26か国が参加している。

ワーキンググループとして細胞遺伝、携帯電話と小児、基地局の線量測定、統計、新規技術、疫学部門がある。これまで、26回のワークショップに基づく生物学的、技術的問題点に対する見解の公表、研究の方法、統計、測定に関する勧告意見による質の向上の確保に貢献してきた。具体的なテーマとしては、新規通信技術、小児、遺伝毒性、生体影響の生理学的機構、基地局、脳、血液脳関門、行動学、蛋白、がん、実験法、ばく露評価、法律、生殖、統計、ドシメトリーであった。活動としてホームページ開設、ワークショップ開催、定期刊行物・報告書発行、教育啓蒙、WHOへの協力、特定課題への勧告意見表明がある。これらはホームページで参照できる（<http://www.cost281.org>）。これまでに多くのアクセスがあった。

3.4 IEEE C95.1 の新基準（C-K Chou）

電磁界の安全に関する国際委員会（ICES）が23か国132人の委員により構成され、教育・研究・政府・企業分野、専門家、市民を反映している。大きくばく露基準、製品基準、環境基準の3部門に分けられ、ばく露基準部門には測定、危険警鐘、0-3 kHz、3 kHz-300 GHz、電子起爆装置 EEDs（Eletro-explosive devices）の各小委員会が、製品基準部門には海洋レーダー、無線電話、無線周波電磁界防護服の各小委員会がある。これまで以下の安全基準を発表してきた。USCS C95.1-1966（1966年）：個人に対する電磁放射線の安全レベル。ANSI C95.1-1974：電界および磁界の規制値。ANSI C95.1-1982：線量評価。IEEE C95.1-1991：安全基準。IEEE C95.1-2005：安全基準。新基準であるC95.1-2005は無線周波電磁界（3 kHz—300 GHz）へのばく露安全基準を示し、各周波数帯の基本基準および最大許容ばく露量を勧告している。無線周波電磁界による火傷予防のための規制値、局所ばく露の電力密度最大許容値、これらの基準の遵

守評価法、無線周波電磁界の安全プログラムの推奨を行っている。これらの勧告や推奨の元になった科学的事実や改訂のプロセスは文書化されている。また、SAR 値の規制値の検討を最近の研究結果や他の国際機関との比較等を通じて再検討を行ない改正した。

3.5 携帯電話と健康に関する疫学研究(山口直人)

携帯電話の使用が脳腫瘍、聴神経腫瘍、耳下腺腫瘍の発生リスクを高めるかが問題。これまでに、2つのコホート研究と6つの症例対照研究があるが、最近のスウェーデンの2研究でリスクが高かった。観察が短期、ばく露評価は不十分、記憶バイアス等の問題が残っているため、12か国が参加する INTERPHONE 研究が発足した。研究が終了した北欧+英国の結果では、聴神経腫が全体ではリスクは高くなっていなかったが、長期使用者で使用耳側のリスクが有意に高かった。脳腫瘍については解析中である。携帯電話の使用時間や使用側についてこれらが記録される電話機を用いてアンケートで得られる情報との間に違いがあるを調べる検証研究を行っている。

3.6 高周波ばく露の細胞生物学的影響(宮越順二)

2.45 GHzの連続する無線周波電磁界の SAR 値を 0.05-200 W/kg と変化させて生物学的実験を行い、以下のような結果を得た。50 W/kg 以下で2時間ばく露後の細胞増殖、細胞周期、遺伝子への影響は観察されなかった。5-200 W/kg に変化させた場合でも細胞の突然変異や細胞小核の形成増加などは認められなかった。結論として、携帯電話レベルの SAR 値での2時間程度の短期ばく露では細胞への遺伝子毒性は見られず、温度上昇以外の影響が生起される可能性はないものと思われる。今後は DNA マイクロアレイを使用し、無線周波電磁界と化学物質や電離放射線との混合長期ばく露による影響の検討を計画している。

3.7 韓国における生体に関する研究(Jae-Seon Lee)

In vivo 実験研究としては無線周波電磁界の全身ばく露による発がん性と腫瘍化促進研究およびストレス反応研究、頭部ばく露による発がん性と神経細胞消失研究がある。*In vitro* 研究としては、ストレス反応、細胞周期と増殖、プロテオミクス、細胞遊走と浸潤研究がある。ばく露環境としては 849 MHz および 1,763 MHz の携帯電話周波数を使用。*In vivo* の全身ばく露および頭部ばく露研究ではいずれの研究でも有意な結果は得られなかった。*In vitro* の研究でも有意な結果は認められなかった。現在進行中の研究として、乳がん細胞を用いた携帯電話ばく露によるプロテオミクス研究、細胞周期、浸潤、遊走研究がある。前者は解析中で、後者の中間解析では確たる影響は観察されていない。このほか他の研究施設にて、遺伝子発現の研究、20 kHz への長期ばく露研究、脳腫瘍および耳下腺腫瘍の症例対照研究、人対象の脳波、症状発現、染色体異常検出、細胞免疫の変化の研究がある。

3.8 身体装着機器のSAR測定方法 (Ae-Kyoung Lee)

携帯通信機器をポケットに入れたり、ズボンのベルトに掛けたケースで体に密着した使用が認められる。そこで、韓国で開発した多層組織男性人体モデルと従来用いられた VH (Visible Human voxel model) モデルを用いて SAR 分布を体の各部位で調べた。それぞれのモデルは皮膚組織と脂肪組織の厚さが異なっており、さまざまな条件下で詳細に検討した。SAR 値のピークは脂肪組織の影響が大きく、周波数によっても SAR 値のピークは大きく変化した。

3.9 EMF-NET の役割、目的、活動 (Paolo Ravazzani)

企業、労働団体、規制機関、科学研究機関、消費者団体、専門家など現在 53 の代表で構成され、国際組織、EC、各国での研究の協調の枠組みとして機能している。また、EU による施策形成への資料提供と助言を担っている。評議委員会と理事会の下に 7 つの部門があり、その下に計 12 のワーキンググループがある。これまでに報告された電磁界の健康影響について、その科学的根拠の強固さを 4 段階に分けて独自に評価している。また、研究成果が不十分で推進されるべき研究課題をあげ、それらへの対応を提言している。多岐にわたるさまざまな報告書や文書の発行、ワークショップ、研究会、会議の開催、記者会見を含むマスコミへの情報提供も行っている。今後もさまざまな活動が予定されている。ホームページは以下である。<http://emf.net.isib.cnr.it>

3.10 米国における取り組み (Abiy B. Desta)

政府機関としては FDA (米国食品医薬品局) を中心に、FCC (Federal Communication Commission)、NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health)、OSHA (Occupational Safety and Health Administration)、EPA (Environmental Protection Agency)、NTIA (National Telecommunication and Information Administration)、DOD (Department of Defence) が取り組んでいる。FDA は医療機器、テロ対策機器、電子レンジなど放射線を出す家庭用電気製品等の安全性を監理する立場にある。携帯電話に関しては FCC と共に無線通信の規制と監視の責務を負っている。米国内で販売されるすべての携帯電話は FCC の安全指針を満たさなくてはならないが、この指針は FDA や他の機関の検討結果を参考している。無線周波電磁界に関しては、これらの機関の代表者からなる委員で構成するワーキンググループがある。無線周波電磁界研究として、携帯電話の細胞毒性および発がん性研究、テラヘルツ電磁波の生物学的影響、組織温度上昇、神経毒性、呼吸や心機能への影響、職業ばく露と脳腫瘍、血液腫瘍の発生などが種々の機関で行われているが、FDA はその資金助成、調整なども行っている。米国では 2 億 2 千 3 百万の携帯電話が契約されており、今後も研究が継続される。活動内容はホームページ (<http://www.fda.gov/cellphones>) で公開されている。

3.11 電磁界研究調整における WHO の役割 (大久保千代次)

(本報告において、WHO 国際諮問委員会および生体電磁環境国際シンポジウムの項で詳細に述べたことと重なるため、ここでは割愛する。)

4 諸外国の動向(各国からの報告、声明、法律等)

この1年間に、主にヨーロッパのEU, 各国の政府関係機関、主要な研究機関等からいくつかの報告書、声明が出された。さらに深く国際動向を把握する糸口として、どこからどのようなものが出たか、概要ならびに詳細が述べられているホームページアドレスなどをここに記する。

4.1 オランダ保健委員会年次報告(2005年11月)

今回の報告では最近の研究結果を精査し、6つの問題について報告した。第1に、携帯電話アンテナとがん発生の関連だが、確たる結論が得られる十分な研究はみられなかった。また、テレビやラジオの放送塔近隣住民の白血病発生リスクが高いという報告もあったが、詳細な検討の結果、その結果は偶然性による可能性も十分あるとされた。第二に、携帯電話使用と頭部の腫瘍の国際共同研究だが、これまでに発表された結果ではリスクは高くなかった。ただ、聴神経の腫瘍との関連を示した研究が一つあり、今後の他の国での研究結果が待たれる。次に極低周波電磁界と乳がんとの関連だが、職業上ばく露研究では関連はなかったものの、送電線との関連ではわずかのリスク上昇を認めた研究があった。しかし、交絡因子の検討が十分でなく、なんらかの結論を導くには至らない。電磁界がDNAの損傷を引き起こすかについては1つの研究で示されたのみで、はっきりしない。最後に、いわゆる電磁波過敏症だが、現時点では科学的因果関係があることを示した研究はない。なお、この報告は以下のホームページにて公開されている。

<http://www.healthcouncil.nl>

4.2 スイス移動通信研究基金(2006年6月)

第3世代通信であるUMTS(Universal Mobile Telecommunication System)基地局からの電磁界へのばく露が人の健康感と認知機能に及ぼす影響を電磁界に感受性があるという対象とそうでない対照を比較して調査した短期ばく露研究では、何らの悪影響は観察されなかった。この結果は2003年のオランダの研究で示された健康に影響があるという結果を再現するものではなかった(<http://www.unizh.ch/phar/sleep/handy/>)。

4.3 ドイツ Forschungsgemeinschaft Funk e.V. (FGF, 英名: Research Associations for Radio Applications)(2006年)

電磁界の生物学的影響特に人への影響に関する研究の社会への啓蒙と政策への反映を目指した活動の一環として毎年年次報告を作成しており2006年は第9回目となる。ちなみに2007年には創設15年を迎えるが、この報告ではこれまでの歩みも概括した。2006年の研究活動では16のプロジェクトを実施した。科学論文データベースの作成維持、文献調査、第3次無線通信システムの健康影響実験、無線周波電磁界の血液脳関門に関する遺伝子、蛋白質への影響、人体ばく露線量評価、パルス波の生体影響などである。2006年の予算は1千万ユーロ弱であったが、内86万ユーロは外部から獲得した資金であった。今年のプロジェクトに絡んだ1遍の原著論文

が掲載され、3遍が受理、投稿中2遍、準備中2遍である。開催したワークショップは血液脳関門、無線周波電磁界に対する生体組織の反応、小児の感受性であった。施策担当者、医療従事者、マスコミ関係者等に対するセミナーを始めとして、種々のテーマで計4回開催した。ニュースレターは4回発行した。WHO、EMF-NET など多くの国際機関との連携のもと活動を展開した。詳細は以下のホームページに公開されている。

http://www.fgf.de/english/fgf/annual_reports/FGF-annual-report-2006.pdf

4.4 イスラエルの非電離放射線に関する新法の公布(2006年1月)

一般住民とその環境を非電離放射線の影響から守ることを目的として、その発生源の開発、設置と運用の制御、線量およびばく露量の測定等に関して、予防的原則に基づいた監理を定めた基準と遵守を定めた法は公布した。6章33条と附則からなる包括的な法律となっている。法の目的、定義、認可、査察、撤去命令、罰則、規定の章から成る。

4.5 欧州委員会(EC)の新たな健康リスクについての科学委員会(SCENIHR)による電磁界の健康影響についての報告書案作成(2006年10月)

European Commission (EC)の Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR) が、その任務の一部として「電磁界の健康への影響の評価(Possible effects of Electromagnetic Fields on Human Health)」を作成中であるが、その草案への意見を公聴として広く求めている。この経緯と結果は以下のホームページに公開される。
http://europa.eu.int/comm/health/ph_risk/committees/04_scenihhr/04_scenihhr_en.htm

4.6 スウェーデン SSI(英名 Swedish Radiation Protection Authority)の年次報告(2006年)

SSI内に設置された電磁界に関する専門家グループは、第4次年次報告として電磁界と健康リスクの最近の研究結果について報告した。まず日本の小児白血病に関する疫学研究の結果はこれまでの結果に沿う結果となった。無線周波電磁界について多くの実験研究が行われたが、特筆すべき影響を示した研究は見られなかった。遺伝子への影響をみた研究でも同様であった。第3世代携帯電話通信基地局からの無線周波電磁界と認知能力および自覚症状の有無に関する研究でも有意な関連は見られなかった。携帯電話使用と悪性腫瘍リスクの研究でも、これまでの見るべき影響はないという見解に変更を迫るものではなかった。しかしながら、低レベルの極低周波および無線周波電磁界が生体に及ぼす影響についての研究は今後も必要との認識は共有された。

5 WHO 環境保健クライテリア

WHOの国際電磁界プロジェクトでは、電磁界ばく露により生じる健康リスク全般を扱っており、無線周波、極低周波、および静電界のリスク評価を行い、結果を環境保健クライテリアとして公刊している。

WHOによる健康リスク評価は独立の科学者グループにより実施される詳細な分析的評価であり、専門家のレビューを受ける。評価結果に影響する新しい科学データが利用可能になった場合、大きなばく露がありヒトの健康や環境に影響が生じる懸念がある場合、あるいは前回の評価から長期間が経過している場合などに行われる。

公刊されている電磁界ばく露に関する環境保健クライテリアは以下の四冊であり、0 から 300 GHz の周波数帯の電磁界ばく露が扱われている。

1. Environmental Health Criteria 238 (2007): Extremely Low Frequency (ELF) Fields. WHO, Geneva, Switzerland, ISBN 978-92-4-157238-5
2. Environmental Health Criteria 232 (2006): Static Fields. WHO, Geneva, Switzerland, ISBN 92-4-157232-9
3. Environmental Health Criteria 137 (1993): Electromagnetic Fields (300 Hz - 300 GHz). WHO, Geneva, Switzerland, ISBN 92-4-157137-3
4. Environmental Health Criteria 69 (1987): Magnetic Fields. WHO, Geneva, Switzerland, ISBN 92-4-154269-1

第二部
電磁界ばく露の健康影響評価に関する
文献情報調査結果

第二部 電磁界ばく露の健康影響評価に関する文献情報調査結果

第二部には文献情報調査結果を収める。

- 1 電磁界の健康影響に関わる最近の研究結果(2006)
- 2 高周波電磁界の生体影響に関する研究動向

1 電磁界の健康影響に関わる最近の研究結果(2006)

1. はじめに

1980年代以降、超低周波電磁界による健康影響について多数の論文が報告されており、本調査研究の一環としても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)に疫学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がまとめられている。また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)で、2002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電磁界曝露による健康影響の因果関係を中心に「電磁界の健康影響に関わる最近の文献調査2002」として結果が整理されている。その後、各年度の疫学研究及びレビューがまとめられ2003年度に「電磁界の健康影響に関わる最近の文献調査(2003)」及び2004年度に「電磁界の健康影響に関わる最近の文献調査(2004)」、2005年度に「電磁界の健康影響に関わる最近の文献調査(2005)」を報告している。

今回我々は前報告(2005年)以降の2006年に報告された疫学研究及びレビュー等の検討を行い、超低周波電磁界(商用周波数)による健康影響の因果関係に関して現時点における検討を実施したので報告する。

2. 2005年度までの報告内容の概要

2005年度までの報告により曝露評価の方法についての問題があることは払拭しきれないが、小児白血病については、電磁界、特に商用周波数の磁界の曝露による関連性を示唆する研究論文が多数認められる。女性の乳がんや電磁界曝露、特に電気毛布などの使用についての検討も行なわれているが、明らかな関連については示したものはなかったと考えられる。その他の悪性腫瘍についてはいくつかの論文にて否定的な見解が大勢を占めていた。心血管疾患や不整脈についてはその後の研究報告でもそれまでの知見と異なる報告は認められず、関連性はほとんどないとする研究結果が多数であった。またアルツハイマー病や筋萎縮性側索硬化症などを中心とした神経疾患についても検討を行なわれているが関連性を認めた報告はほとんどなされていなかった。電磁波過敏症についての検討も行なわれていたが明らかな知見は得られていない。近年これら疾患と同様に出生・発達の異常などについても検討が行なわれ

ていたが明らかな知見は認めなかった。これらの十分な知見が得られていない疾患については更なる検討が必要であると報告されている。

3. 方法

今回の方法として MEDLINE から 2006 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 - 7) を抽出した。抽出にあたっては日本語での本調査研究に適合した疫学論文の発表はなく、また 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及び主要な論文は英語のサマリーを持つこと、レビューの内容から鑑み全文が英語の文献で高いレベルの研究が網羅されていることなどを考慮し、英語により発表された論文のみを採用した。論文の着目疾患別内訳は、全白血病に関するもの 4 本 (1,2,3,4)、乳がんに関するもの 1 本 (5)、その他悪性腫瘍に関するもの 1 本 (6)、心疾患に関するもの 1 本 (7) であった。

論文の研究方法別内訳は、後ろ向きコホート研究が 1 本 (1)、症例対照研究が 2 本 (2,6)、横断研究が 1 本 (7)、レビューが 3 本 (3,4,5) 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、研究方法について要約を示した。要約は掲載誌名・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・判断をまとめたものであり、個々の文献の要約については参考文献に示した。

4. 全白血病および全脳腫瘍、乳がんについて

全白血病および全脳腫瘍、乳がんに関する論文は 4 本が抽出された。その研究方法別内訳では、後ろ向きコホート研究が 1 本 (1)、症例対照研究が 1 本 (2)、レビューが 2 本 (3,4) であった。

4.1. 全白血病についての研究

DE Foliart⁽¹⁾らはコホート研究による小児期の急性リンパ性白血病患者における磁界曝露の影響を検討した。彼らの研究の対象は 1996 年から 2001 年までの間に米国の Pediatric Oncology Group にて診断を受け、治療プロトコルに基づいて治療を行なった 1 歳から 15 歳までの患者 1672 名のうちインフォームドコンセントを取得した 482 名である。対象者の磁界の曝露評価については EMDEX Lite meter (Enertech consultants Cambell, CA, USA) を対象者の家族に送付し 24 時間測定後郵送してもらっている。その結果 412 人が最初の 1 年目の測定を行なった。分析の方法は他の疾患の発生が無い状態での生存及び最終的な生存について Kaplan-Meier 曲線を用い検討し、Cox proportional hazards regression analysis による分析を行なった。また磁界曝露については 0.1 μ T 未満・0.1-0.2 μ T 未満・0.2-0.3 μ T 未満・0.3 μ T 以上に分類し検討を行なった。これらの解析の最終的な対象者は 386 名であった。Kaplan-Meier 曲線の結果では各曝露分類にしたがって疾患発生無しの生存について log

rank test を行なっているが有意な差は認めなかった ($p=0.054$)。また他の疾患の発生が無い状態での生存について Cox proportional hazards regression analysis では曝露が増えると Hazard Ratio (HR) が増大するという有意な傾向は認めなかった。また各曝露群について 0.1 μ T 未満と比較し有意に HR が増加している群は認めなかった。しかし最終的な生存については 0.4 μ T 以上の群について HR が 3.39 (95%CI:1.14-10.06) となっており有意差を認めた。今回の結果より小児白血病の患者について 0.4 μ T 以上の曝露を受ける群については生存期間が短くなる可能性があるとしている。

Kabuto⁽²⁾らは日本での高圧電線による磁界曝露が小児白血病の発生に影響を与えるかを検討するため日本の各地域を対象とした症例対照研究を行った。研究の対象者は日本の 5 つの小児癌調査グループに参加している 245 の病院で 1999 年から 2001 年の間に診断された 0 歳から 15 歳までの急性白血病の患者 312 名 (251 名の急性リンパ性白血病 (ALL) と 61 名の急性骨髄性白血病 (AML)) と年齢・性別・居住地域をマッチさせた対照 603 名であった。他の疾病の罹患者・染色体異常者・免疫不全症候群などがある対象者については除外していた。電磁界の測定は 24 時間の個人曝露に非常に近似するとして寝室での 24 時間曝露測定により代用しており、曝露について 0.1 μ T 未満・0.1 μ T - 0.2 μ T 未満・0.2 μ T - 0.4 μ T 未満・0.4 μ T 以上の 4 群に分類した。その結果、共変量による調整を行なわなかった場合、0.4 μ T を超える曝露を受ける群では 0.1 μ T 未満の群と比較し AML と ALL を合算した場合 Odds 比は 2.56(95%CI : 0.76 - 8.58)であったが、ALL 単独の場合は Odds 比が 4.67 (95%CI 1.15-19.0) となり有意差を認めた。また性別・診断時の年齢・父の学歴・母の学歴・妊娠中の喫煙歴、飲酒歴、受動喫煙歴・住居の種類・居住歴を共変量として調整を行なった場合においては、AML と ALL を合計した場合の Odds 比は 0.4 μ T を超える曝露を受ける群では 0.1 μ T 未満の群と比較し 2.77(95%CI 0.80-9.57)となり有意差を認めなかった。電力線からの距離を居住地の磁界曝露の代わりとして用いて評価すると、電力線からの距離が 100m 以上離れている場所に住んでいる場合と比較して、50m 未満しか離れていない場合は Odds 比が 1.61(95%CI : 0.88 - 2.95)、50m - 100m の間の場合は Odds 比が 3.06 (95%CI : 1.31 - 7.13) となっていた。同様に AML にて比較を行なった場合、電力線からの距離が 100m 以上離れている場所に住んでいる場合と比較し 50m 未満しか離れていない場合は Odds 比が 3.11(95%CI : 0.71 - 13.6)、50m - 100m の間の場合は Odds 比が 1.25 (95%CI : 0.11 - 14.9) となっていた。これらの結果より著者らは日本において急性白血病の発生全体については差を認めなかったが、急性リンパ性白血病の発生については特に 0.4 μ T 以上の磁界の曝露と関連があるのではないかとしている。

Elwood JM⁽³⁾らはこれまで発表された小児白血病を対象にした各研究と 2 つのプールドアナライシス(pooled analysis)を元にレビューを行なっていた。彼らはこれまで行なわれた Ahlbom らのプールドアナライシスと Greenland らのプールドアナライシスをその元となった原著論文と比較している。それによると Ahlbom らのプールドアナライシスは合計すると

3,247名の症例と10,400名のコントロール群について検討が行なわれていた。電磁界の曝露レベルについての検討では居住場所での寝室やその他の場所の24時間もしくは48時間の測定により施行されていた。曝露分類としては0.1 μ T未満、0.1-0.2 μ T未満、0.2-0.4 μ T未満、0.4 μ T以上に分類し比較を行っていた。これらによる分析結果では居住地域の曝露が0.1 μ T未満及び0.2-0.4 μ T未満に分類された人はOdds比がそれぞれ1.08(95%CI 0.89-1.31)・1.11(95%CI 0.84-1.47)となっていた。最も高いカテゴリーである0.4 μ T以上の群においてOdds比は2.00(95%CI 1.27-3.13)となっていた。この曝露が最も多いカテゴリーでは症例が44名であり、コントロール群が62名となっていた。Greenlandらは12の症例対照研究を用いプールドアナリシスを行なっている。対象は症例群が2,656名とコントロール群が7,084名であった。曝露の評価は診断前3ヶ月までの時間加重平均の曝露としている。これらによると0.1 μ T以内の群と比較して0.1 μ T以上0.2 μ T未満の群はOdds ratioは1.01(95%CI 0.84-1.21)、0.2 μ T以上0.3 μ T未満の群は1.06(95%CI 0.78-1.44)となり有意差を認めなかった。しかし最も曝露の高いカテゴリーである0.3 μ T以上の群では99の症例と130の対象であったがodds比は1.68(95%CI 1.23-2.31)と有意であった。なお、高曝露群の平均曝露は5.8 μ Tであった。これらのプールドアナリシスについて著者らはいくつかの問題点を述べている。まず分類した曝露のカテゴリーが異なることをあげている。また年齢はプールドアナリシスでは0歳から14歳の範囲で行なわれていた一方、原著論文では様々な範囲で行なわれていたと述べている。また、原著では全ての論文で年齢・性別・社会経済的状態などを調整して行なわれているが、プールドアナリシスではそれらを無視されていたとしている。さらに症例の問題点なども指摘しており、プールドアナリシスでは最も曝露を受けた群においての症例が結果に影響を大きく与えるが、2つのプールドアナリシスでは高曝露群における症例のうち99症例中の56症例・44症例中の30症例が2つの原著論文からその影響を非常に強く受ける可能性があり、原著論文の結果とは異なったものとなっている可能性があるとしている。

Richard J.Q.⁽⁴⁾らは小児の白血病発生への電磁界の影響についてレビューを行なっている。ドイツで行なわれたSchuz Jらの症例対照研究では夜間の0.4 μ T以上の磁界曝露はコントロール群と比べて小児白血病の発生のオッズ比が5.53(95%CI 1.15-26.6)となっていた。イタリアでのBianchiらの症例対照研究では101名の小児白血病患者と412名の対照群を用い高圧送電線からの電磁界による小児白血病との関連についての検討を行なった。それによると今回の対象のうち20名が高圧送電線からの電磁界の影響を受けていると考えられ、そのうち白血病患者では高曝露者が9名に対し対照群では11名であり、オッズ比が4倍となっていた。また高圧送電線からの電磁界曝露について量反応関係が認められたとしている。しかし、厳密な曝露測定を行っての検討が必要であると結論づけている。英国でのDraperらの症例対照研究では高圧電線からの距離と小児白血病の発生についての検討を行なっている。それによると29,081名の悪性腫瘍を発症した小児(うち9700名の白血病患者)を症例とし、誕生

日・性別・誕生場所をマッチさせた対照を設定して検討を行なった。高圧電線より 200m以内に居住している小児は 600m以上離れた場所に居住している小児とに区分した場合、症例と対照のオッズ比が 1.23 (95%CI 1.02-1.49) となっていた。一方、関連性を認めなかったとする論文については、0.4 μ T 以上のカテゴリーが少なかったため、曝露レベルが非常に低くなっていたためと考察している。

その他には両親の曝露と子の小児白血病についての検討を行った研究がある。Feychting らはスウェーデンの 235,635 人の小児についてのコホート研究を行っており、その両親の曝露について解析を行なっている。曝露については Job exposure matrix(JEM)を用いて検討している。それによると母の曝露については関連を認めなかったが、父の曝露について 0.3 μ T 以上の曝露になると子の小児白血病発症の相対危険度が 2.0(95%CI 1.1-3.5) となっていた。また Infante-Rivard らは 491 名の小児白血病患者とその対照 491 名について検討を行なっている。これによると母の職業性曝露が 0.4 μ T 以上の場合小児白血病を発症するオッズ比が 2.5 (95%CI 1.2-5.0) となっていた。これらにより著者らは一般的には小児白血病のリスクファクターとして 0.4 μ T 以上の曝露があった場合が考えられるが、いずれの研究も電磁界曝露のみを検討しており、その他の小児白血病の発生リスクについて検討を行っていない点が問題である可能性をあげ、今後の研究にはそのような複合的なリスクの検討が必要であるとしている。

4.2.乳がんに対する研究

Feychting⁽⁵⁾らは電磁界と女性の乳がんに対する関連性についてレビューを行なっている。2001 年の IARC の発がん性評価後に発表された職業性の曝露については 5 本の論文、生活環境による曝露については 4 本の論文について検討している。Labreche らのカナダにおける研究では様々な職業性曝露における閉経後の乳がんの発生についての症例対照研究を行っていた。職業性曝露は面接により取得されており、occupational hygienist により電磁界曝露について曝露無し (0.2 μ T 未満)・低曝露群(0.2 - 0.5 μ T 未満)・中等度曝露群(0.5 μ T - 1.0 μ T 未満)・高曝露群 (1.0 μ T 以上) の 4 つのカテゴリーに分類された。最も曝露が高いとされていた群は繊維業の人々であった。解析方法としてはロジスティック回帰分析を用い検討を行なっている。これらの各群において有意な差を認めておらず、エストロゲンレセプターの状態を調整し比較を行なっても結果に変化を認めなかった。また、35 歳未満の曝露群にエストロゲンレセプター陽性の乳がんの発生が増加している (OR 1.56 95%CI 1.02-2.39) ため電磁界曝露は乳がんにはわずかながら影響していたとしている。

Van Wijngaarden E らはノースカロライナ州での 843 名の乳がん患者と 773 名のコントロール群において症例対照研究を行なっている。曝露の評価は 200 人の女性について直接電磁界の曝露測定を行い、それを基に最も長い期間及び次いで長い期間就業していた 2 つ業務により曝露の推定する方法をとっていた。それによると 10 年以上の電磁界曝露はエストロゲン

レセプター陽性乳がんの発生リスクを増大させているが明らかな量反応関係については認めていない。

Kliukiene JらはNorwayでの乳がん患者を対象に症例対照研究を行なっている。曝露評価は生活環境の曝露は電力線から発生される電磁界から計算し推定され、職業性曝露の評価はJEMにより評価されていた。その計算結果から1週間に $2\mu\text{T}$ 以上の曝露時間が24時間以上の群・4時間-23時間の群・4時間未満の群に分け検討を行なっている。それによると生活環境にて曝露を受けている群は受けていない群に比べ乳がんの発生リスクが高かった(Odds比1.58 95%CI 1.30 - 1.92)が、累積の職業性曝露・乳がんの発生リスク・エストロゲンレセプターの状態などにより調整を行なった場合、有意な差を認めなかった。Kliukiene Jらはまたノルウェーの電信通信係を対象としたコホート研究も行なっている。1961年から2002年までの女性のテレフォンオペレーターの観察を行なっている。それによるとノルウェーの一般人口と比較して乳がんの標準化発生比(SIR)は1.30(95%CI 1.05 - 1.58)となっていた。ただ曝露の評価については従事年数と業務により分類を行なっており、注意が必要であると思われる。

Forssen UMらはスウェーデンの乳がん患者及びその対照群の計2万人に対しJEMを作成し曝露評価を行い、症例対照研究を行なった。曝露の測定方法としては幾何平均や $0.3\mu\text{T}$ 以上の曝露を受けている割合、最大曝露量、電磁界曝露量の変化の割合などにより検討を行なっている。これらのいくつかの曝露評価により検討を行なっているが、いずれの曝露評価においても高曝露群において乳がん発生が有意に高くなることはなかった。また35歳以前の曝露・長期間の曝露・エストロゲンレセプター陽性の乳がん・診断時の年齢・閉経前の女性といった以前の研究にて乳がんの発生と関連があるとされている項目についてサブ解析を行なっているがいずれも関連性は認めなかった。

Davis Sらはシアトルで寝室での48時間電磁界測定及びワイヤーコード法による分類を行い、症例対照研究を行なっている。曝露の評価は算術平均や $0.2\mu\text{T}$ 以上の曝露の割合・曝露の変化の割合などを用い各々4つのカテゴリーに分類し検討を行なっている。これらによると乳がんと電磁界曝露との間には関連性は認めなかった。また継続的な電磁界曝露についても検討を行なっているが関連性は認められず、エストロゲンレセプターや診断時の年齢により比較を行なっているが結果は同様であった。

Londonらはコホート内症例対照研究により電磁界曝露の発生について関連を調査した。曝露は7日間の昼夜の測定及びワイヤーコード法にて評価を行なっている。 $0.4\mu\text{T}$ 以上の高曝露群においてコントロール群と比較を行なっているが、特に有意差を認めなかった。また年齢やエストロゲンレセプターの有無により調整を行なっているが特に差を認めなかった。

Kabatらは米国にて電気毛布の使用と電磁界曝露についての関連を症例対象研究にて検討している。曝露評価は問診にて電気毛布について詳細な使用状況の聴取にて行なっている。その結果電気毛布の使用状況(現在・過去・未使用)や直接身体に接触させての使用・一晩中

の電気毛布の使用などについて検討しているが電磁界の曝露と乳がんの発生との関連は認めなかった。Zhu らはアフリカ系アメリカ人の乳がん患者と電気毛布の使用についての関連について症例対照研究にて検討を行なった。症例は 1995 年から 1998 年までに乳がんと診断されたアフリカ系アメリカ人女性 304 名であり 305 名を対照とした。電話での問診聴取にて電気毛布などの使用状況を確認し曝露の評価を行なっている。乳がんの発生リスクは 10 年以上使用することにより約 5 倍になっていた。これは月経の状態やエストロゲンレセプターの状態を調整しても同様の結果であった。この調査では 670 人の乳がん患者対象者のうち最終的な参加者は 304 名であったことが限界としてあげられている。これらの各論文の大きな問題点は生物学的に電磁界が乳がんに影響を与えることがはっきりしていないことによりおこる曝露の誤分類であるとしている。現状では近年のよくデザインされた研究からは電力線などから発生する超低周波電磁界は乳がん発生のリスクとは考えにくいとしている。

4.3. その他の悪性腫瘍について

Forssen⁽⁶⁾らはスウェーデンにおける聴神経腫瘍の発生と超低周波電磁界の曝露について症例対照研究を行なった。症例は 1987 年から 1999 年までの間にスウェーデン社会省(National Board of Health and Welfare) が関与している悪性腫瘍の登記簿にて聴神経腫瘍として登録された人 793 名 (男性 391 名・女性 402 名) であり、対照はスウェーデンの国勢調査において年齢・性を層化させた後聴神経腫瘍・頭蓋内腫瘍・膵臓癌・造血器腫瘍を発症したことの無い人から選んだ 101,762 名 (男性 58,956 名・女性 42,806 名) とした。曝露の評価として 1975 年・1980 年・1985 年・1990 年に行なわれたスウェーデン統計局による国勢調査をもとにおこなわれた。これらの調査にて対象者全ての職業及び社会経済的状況についての情報を入手した。職業ごとの曝露については性別毎に作成された JEM を用い曝露評価を行なった。男性の JEM は 1996 年に Floderus らが作成したもので男性の行っている業務のうち 90% の異なる職種について網羅されていた。女性については職業ごとに測定された磁界曝露量を基に新しい JEM を作成している。JEM 作成のため各々の職業につき 5 回から 24 回の測定が行なわれ、合計 491 回の測定が行なわれた。この JEM は女性の対象職種のうち 85% を網羅していた。JEM にて曝露評価ができない職種の人については別姓の JEM にて曝露の評価を行なっていた (対象者は男性が 3%、女性が 7% であった)。JEM の曝露評価により 25 パーセント・50 パーセント・75 パーセントである $0.12 \mu\text{T}$ 未満・ $0.12 - 0.19 \mu\text{T}$ ・ $0.20 \mu\text{T} - 0.29 \mu\text{T}$ ・ $0.30 \mu\text{T}$ 以上の 4 つのカテゴリー分類し比較を行なった。またよく他の分析にて用いられる $0.1 \mu\text{T}$ 及び $0.4 \mu\text{T}$ をカットオフポイントとして用いていた。結果として男性は $0.1 \mu\text{T}$ 未満の曝露は非常に少なくなっており (男性 1.9%、女性 13.0%)、女性は $0.4 \mu\text{T}$ 以上の高い曝露は男性と比較し少なくなっていた (男性 4.9%、女性 1.31%)。これらを $0.10 \mu\text{T}$ 未満・ $0.11 - 0.19 \mu\text{T}$ ・ $0.20 - 0.30 \mu\text{T}$ ・ $0.3 \mu\text{T}$ より大きい群に分類し検討を行なっているが、 $0.10 \mu\text{T}$ 未満を参照群としたときに各群において Odds 比の差を認めなかった。ま

た、 $0.40\ \mu\text{T}$ より大きい群と $0.1\ \mu\text{T}$ 未満の群を比較したときにOdds比の差を認めなかった。さらに統計局における5年ごとの調査にて以前に $0.12\ \mu\text{T}$ 未満の曝露を受けていた人と比較し、以前に $0.25\ \mu\text{T}$ 以上の曝露を受けている人はOdds比が 0.71 (95%CI $0.49 - 1.02$)となっていた。また $0.25\ \mu\text{T}$ 以上の曝露が2回・3回・4回継続した人は継続的な曝露が $0.12\ \mu\text{T}$ 未満の人と比べてそれぞれOdds比は 1.37 (95%CI $0.93 - 2.02$)、 1.03 (95%CI $0.62 - 1.69$)、 0.83 (95%CI $0.44 - 1.55$)となっていた。これらの結果より著者らは超低周波電磁界と聴神経腫瘍の間には明らかな関連性は認めなかったとしている。

5. 悪性腫瘍以外について

悪性腫瘍以外の疾患に関する検討を記載した論文は1本(7)であり、突然死につながる心電図変化についての検討であった。研究方法は横断研究にて行なわれていた。

5.1. 心血管疾患について

Bortkiewicz⁽⁷⁾らは操車場の変電所にて働く63名と電磁界曝露のない場所で働く42名を対象とし、50Hzの電磁界曝露と自律神経の乱れによる突然死や心疾患の関連する心電図の変化について検討を行なった。曝露の測定法は電界・磁界の日常量について問診といくつかの作業場所で磁界・電界を測定し、日常的な曝露量を推定している。電界の測定にはMEH-1a meterを用い、磁界の測定にはMNP89 meterを用いている。その結果、EMF曝露群は平均のR-R間隔が少なかったが、統計学的な有意差は認めなかった。R-R間隔が短く(27ms)なっている群は曝露群24%に対し、コントロール群10%と曝露群に多くなっていた。R-R間隔が短くなるOdds比は年齢・性・喫煙歴・飲酒歴・を調整した際には2.8であった。また、電界・磁界の曝露量により4つの群にカテゴリーの分類(電界が 0.2kV/m 以上 0.6kV/m 以下かつ磁界が $1.4\ \mu\text{T}$ 以上 $2.5\ \mu\text{T}$ 以下:カテゴリー、電界が 1.3kV/m 以上 2.4kV/m 以下かつ磁界が $8.9\ \mu\text{T}$ 以上 $12.8\ \mu\text{T}$ 以下:カテゴリー、電界が 11.0kV/m 以上 15.2kV/m 以下かつ磁界が $25.1\ \mu\text{T}$ 以上 $38.9\ \mu\text{T}$ 以下:カテゴリー、及びコントロール群)を行い、検討を行なった。これらの結果、各カテゴリーとコントロールの間で平均的な心拍数及び心拍の変動については有意差を認めなかった。これらより、量反応関係は認めないが心筋梗塞や突然死を起こす可能性が高くなる心拍変動は電磁界曝露を受ける人により起こりやすいとしている。

6. まとめ

今回の論文検索については主に2006年に発表された論文についての検討を行った。今回の論文中では電磁界曝露による日本での小児白血病との関連について報告されたことは特筆すべきことと考える。これまでも超低周波電磁界と小児白血病の発生についての関連が示されることは多かったが、人種・環境等による影響を排除するために日本での研究結果が待望されていた。今回の結果は日本人に与えるエビデンスとしては大きく寄与するものになると考えられた。また小児白血病患者の電磁界曝露の影響についての調査という新しい視点の調

査が行なわれており、非常に興味深いものであった。小児白血病以外の論文については新しい知見は認めておらず、今後の研究の主眼は小児白血病に対するものに向けられつつあると思われる。

参考文献

1. Foliart D E, Pollock B H, Mezei G, Iriye R, Silva J M, Ebi K L, Kheifets L, Link M P, Kavet R : magnetic field exposure and long-term survival among children with leukemia *British Journal of Cancer*: 2006 94(1):161-4
2. Kabuto M, Nitta H, Yamamoto S, Yamaguchi N, Akiba S, Honda Y, Hagihara J, Isaka K, Saito T, Ojima T, Nakamura Y, Mizoue T, Ito S, Eboshida A, Yamazaki S, Sokejima S, Kurokawa Y, Kubo O : Childhood leukemia and magnetic fields in Japan: a case-control study of childhood leukemia and residential power-frequency magnetic fields in Japan. : *International Journal Of Cancer*: 2006 119 (3): 643-50
3. Elwood JM: Childhood leukemia and residential magnetic fields: are pooled analyses more valid than the original studies?: *Bioelectromagnetics*: 2006 27 (2):112-8.
4. McNally RJ, Parker L: Environmental factors and childhood acute leukemias and lymphomas: *Leukemia & Lymphoma*: 2006 47 (4) :583-598
5. Feychting M, Forssén U: Electromagnetic fields and female breast cancer. *Cancer Causes & Control*: 2006 17 (4):553-8.
6. Forssén UM, Lönn S, Ahlbom A, Savitz DA, Feychting M: Occupational magnetic field exposure and the risk of acoustic neuroma: *American Journal Of Industrial Medicine*: 2006 49 (2): 112-8.
7. Bortkiewicz, Alicja; Gadzicka, Elżbieta; Zmyślony, Marek; Szymczak, Wiesław: Neurovegetative disturbances in workers exposed to 50 Hz electromagnetic fields: *Journal of Occupational Medicine & Environmental Health*: 2006 19 (1): 53-60

検討対象論文

文献番号	著者	発表年	タイトル	着目疾患	研究方法
1	DE foliart et al	2006	magnetic field exposure and long-term survival among children with leukemia	小児白血病 患者の死亡	後ろ向きコ ホート研究
2	Kabuto et al	2006	Childhood leukemia and magnetic fields in Japan: a case-control study of childhood leukemia and residential power-frequency magnetic fields in Japan.	小児白血病	症例対照研 究
3	Elwood JM	2006	Childhood leukemia and residential magnetic fields: are pooled analyses more valid than the original studies?	小児白血病	レビュー
4	McNally RJ et al	2006	Environmental factors and childhood acute leukemias and lymphomas	小児白血病	レビュー
5	Feychting M et al	2006	Electromagnetic fields and female breast cancer.	乳がん	レビュー
6	Forssén UM et al	2006	Occupational magnetic field exposure and the risk of acoustic neuroma	聴神経腫瘍	症例対照研 究
7	Bortkiewicz Alicja et al	2006	Neurovegetative disturbances in workers exposed to 50 Hz electromagnetic fields	心電図異常	横断研究

参考論文

文献番号	1
題名	magnetic field exposure and long-term survival among children with leukemia
著者	DE foliart;BH Pollock;G Mezei;R Iriye;JM Silva;KL Ebi;L Kheifets;MP Link;R Kavet
所属機関	Public Health Institute,USA
収監誌名	British Journal of Cancer
掲載巻・号	2006 94(1):161-4
目的	小児の白血病患者が受ける磁界の大きさが生存に關与するかを檢討すること
研究方法	コホート研究
対象集団	1996年から2001年の間にPediatric Oncology centreで治療を行なったリンパ芽球性白血病の患者のうち電磁界測定を行うことのできた482名
曝露評価	各個人についてEMDEX liter meterによる24時間測定を初年度・2年目・3年目初頭に行い、合計412名が個人曝露測定を実行した。
着目疾患	小児の白血病患者の死亡
統計手法	Kaplan-Meier 曲線・コックス比例ハザードモデル
関連性	小児白血病患者において0.3 μ T未満の電磁界曝露であれば小児白血病患者の死亡者の増加を認めなかったが、0.3 μ T以上の曝露を受けた場合に小児白血病患者の死亡者数の増加を認めた。
結果	電磁界曝露については0.1 μ T未満の人が251人であり、0.1-0.19 μ Tが95人、0.2-0.29 μ Tが21人、0.3-0.39・0.4-0.49 μ Tが7人ずつ、0.5-0.59 μ Tが1人、0.6 μ T以上が4人であった。曝露量を0.1 μ T以下・0.1-0.2 μ T未満・0.2-0.3 μ T未満・0.3 μ T以上に分類しKaplan-Meier 曲線による検討を行なっているが、log rank Testでは明らかな有意差を認めなかった。また、Cox Hazard model による検討では単変量解析・多変量解析どちらにおいても0.3 μ T以上の曝露により、死亡のHazard Ratio(HR)が上昇していた。(単変量解析 HR 3.39 95%CI:1.14-10.06、多変量解析 HR 4.53 95%CI:1.49-13.76)
評価・判断	この論文により小児白血病の患者は0.3 μ T以上の超低周波電磁界曝露により死亡リスクが上昇する可能性が示唆された。しかし0.3 μ T以上の曝露を受けているケースが全体の5%程度であり非常に少ないことは注意が必要である。

文献番号	2
題名	Childhood leukemia and magnetic fields in Japan: a case-control study of childhood leukemia and residential power-frequency magnetic fields in Japan.
著者	Kabuto M; Nitta H; Yamamoto S; Yamaguchi N; Akiba S; Honda Y; Hagihara J; Isaka K; Saito T; Ojima T; Nakamura Y; Mizoue T; Ito S; Eboshida A; Yamazaki S; Sokejima S; Kurokawa Y; Kubo O
所属機関	National Institute for Environmental Studies, Ibaraki, Japan.
収監誌名	International Journal Of Cancer
掲載巻・号	2006 119 (3): 643-50
目的	日本での高圧電線による磁界曝露が小児白血病の発生に影響を与えるかを検討すること
研究方法	症例対照研究
対象集団	日本における5つの小児癌調査グループに参加している245の病院で診断された急性白血病の患者312名とその対照603名
曝露評価	EMDEX-Liteを用い寝室での24時間曝露測定を1週間行った。また、EMDEX-IIを用い自宅内外の曝露測定をいくつかのポイントで5分間行った。
着目疾患	小児の急性白血病
統計手法	ロジスティック回帰分析によるOdds比の測定
関連性	寝室にて0.4 μ T以上の曝露を受ける小児において0.1 μ T未満の曝露を受ける小児と比較した場合、白血病全体および急性リンパ性白血病発生のOdds比が増加しており0.4 μ T以上の電磁界曝露と小児白血病の発生について関連性が示唆された。また、高圧電線からの距離について50m未満の群は100m以上離れた群と比較して小児白血病の発生が有意に多かった。
結果	小児白血病のリスクは電磁界曝露が0.4 μ T以上の群では0.1 μ T未満の群と比較し急性リンパ性白血病(ALL)及び急性骨髄性白血病(AML)をあわせた白血病の発生するOdds比は2.56(95%CI: 0.76-8.58)で有意差を認めなかった。しかしALL単独の罹患についての検討では0.4 μ T以上の群では0.1 μ T未満の群と比較し4.67(95%CI: 1.15-19.0)と有意差を認めた。また、高圧電線の距離から比較した場合には50m-100m未満及び50m未満の群は100m以上の群と比較し、Odds比は各々1.61(95%CI: 0.88-2.95)及び3.06(95%CI: 1.31-7.13)となっていた。
評価・判断	日本で行なわれた電磁界と小児白血病の関連性を調査した研究であり、非常に有用性が高いと思われる。しかし、高い磁界曝露を受けているケースが非常に少ないため注意が必要であると思われる。

文献番号	3
題名	Childhood leukemia and residential magnetic fields: are pooled analyses more valid than the original studies?
著者	Elwood JM
所属機関	Melbourne, Australia
収監誌名	Bioelectromagnetics
掲載巻・号	2006 27 (2):112-8
目的	小児の白血病と電磁界曝露について検討を行うこと
研究方法	レビュー
対象集団	
曝露評価	論文による。ワイヤーコード法やJob Exposure Matrixなどの使用、寝室の24時間曝露測定などを使用していた。
着目疾患	小児の白血病
統計手法	レビュー
関連性	AhlbomらのプールドアナライシスとGreenlandらのプールドアナライシスについてそのバイアスを中心としたレビューを行っており、信頼性については疑問が残るとしている。
結果	これら2つのプールドアナライシスの問題点として、まず曝露分類について述べている。分類した曝露量のカテゴリーがそれぞれの論文で異なることが一つの問題であるとしている。ついで年齢がプールドアナライシスでは0歳から14歳の範囲で行なわれている一方、原著論文では様々な範囲で行なわれている事を述べており、対象の選択についてのバイアスについての検討が必要であるとしている。また原著では全ての論文で年齢・性別・社会経済的状态などを調整して行なわれているが、プールドアナライシスではそれらを見逃しており、過大評価する可能性を示唆している。さらに症例の問題点なども指摘しており、プールドアナライシスでは最も曝露を受けた群においての症例が結果に影響を大きく与えるが、高曝露群における症例のうち99症例中の56症例・44症例中の30症例が2つの原著論文からでその影響を非常に強く受ける可能性があり、原著論文の結果とは異なったものとなっている可能性があるとしている。
評価・判断	これらのプールドアナライシスは特定の2つの原著論文の電磁界の高曝露群からの影響が非常に強い可能性があり、評価には注意が必要と思われる。

文献番号	4
題名	Environmental factors and childhood acute leukemias and lymphomas
著者	McNally RJ; Parker L.
所属機関	School of Clinical Medical Sciences, Child Health, University of Newcastle Upon Tyne, UK
収監誌名	Leukemia & Lymphoma
掲載巻・号	2006 47 (4):583-98
目的	小児白血病と電磁界曝露についての関連をレビューすること
研究方法	レビュー
対象集団	
曝露評価	高圧電線からの距離や直接測定後のJob Exposure Matrixによる曝露推定、ワイヤーコード法などによる測定を各論文にて行っている。
着目疾患	小児の白血病
統計手法	レビュー
関連性	小児の白血病についての症例対照研究についてレビューを行なっているが、5本の論文にて関連性を認めている。曝露量としては $0.3 \mu T$ もしくは $0.4 \mu T$ 以上により影響が出るとしている論文が多かった。
結果	Schuz Jらの症例対照研究では $0.4 \mu T$ 以上の曝露は小児白血病の発生のオッズ比が5.53(95%CI 1.15-26.6)となるとしていた。イタリアでのBianchiらの症例対照研究では曝露群はオッズ比が4倍となっていた。また高圧送電線からの電磁界曝露については小児白血病の発生頻度が距離に比例しており、量反応関係が認められたとしている。UKでのDraperらの症例対照研究では高圧電線より200m以内に居住している小児は600m以上離れた場所に居住している小児と比較し、オッズ比が1.23(95%CI 1.02-1.49)となっていた。Feychtingらの研究では父の曝露について $0.3 \mu T$ 以上の曝露になると相対危険度が2.0(95%CI 1.1-3.5)となっていた。また、Infante-Rivardらが行なった検討では母の職業性曝露が $0.4 \mu T$ 以上の場合小児白血病を発症するオッズ比が2.5(95%CI 1.2-5.0)となっていた。
評価・判断	いずれの研究も電磁界曝露のみを検討し、その他の小児白血病の発生リスクについて検討を行っていない点が問題と考えられ、今後の研究にはそのような複合的なリスクの検討が必要であると思われる。

文献番号	5
題名	Electromagnetic fields and female breast cancer.
著者	Feychting M; Forssén U
所属機関	Institute of Environmental Medicine, Karolinska Institutet, Stockholm, Sweden.
収監誌名	Cancer Causes & Control
掲載巻・号	2006 17 (4): 553-8
目的	電磁界曝露と女性の乳がんの発生について検討を行なうこと
研究方法	レビュー
対象集団	
曝露評価	各論文により面接による曝露量の把握・ワイヤーコード法・Job Exposure Matrix による推定・直接測定などの方法がとられている。
着目疾患	乳がん
統計手法	レビュー
関連性	職業性曝露については5本の論文、生活環境についての論文については4本の論文について検討を行なっている。職業性曝露については5本の論文中2本について関連性があるとし、環境曝露については4本中2本について関連があるとしている。
結果	Kliukiene JらはNorwayでの乳がん患者を対象に症例対照研究を行なった。曝露評価は生活環境の曝露は電力線から発生される電磁界から推定され、職業性曝露の評価はjob exposure matrixにより評価されていた。それによると生活環境にて曝露を受けている群は受けていない群に比べ乳がんの発生リスクが高かった (Odds比1.58 95%CI 1.30-1.92)。また、コホート研究においてもKliukiene Jらはノルウェーの一般人口と比較して乳がんの標準化発生比(SIR)は1.30(95%CI 1.05-1.58)であった。Zhuらの研究ではアフリカ系アメリカ人の乳がん患者と電気毛布の使用についての関連について症例対照研究にて検討を行なったところ乳がんの発生リスクは10年以上電気毛布を使用することで約5倍になるとのことであった。
評価・判断	大きな問題点として生物学的にどの程度の電磁界曝露による生体影響が起こるか はっきりしていないため曝露の誤分類の可能性があるのではないかとしている。

文献番号	6
題名	Occupational magnetic field exposure and the risk of acoustic neuroma
著者	Forssén UM; Lönn S; Ahlbom A; Savitz DA; Feychting M
所属機関	Department of Epidemiology, School of Public Health, University of North Carolina, Carolina , USA.
収監誌名	American Journal Of Industrial Medicine
掲載巻・号	2006 49 (2):112-8
目的	高圧電力線による磁界曝露と聴神経腫瘍の発生の関連を検討すること
研究方法	症例対照研究
対象集団	スウェーデンにて1987年より1999年までに聴神経腫瘍を発症した793名の症例群と101,762名の対照群
曝露評価	各職業について性別ごとの50Hzの磁界曝露によるJob Exposure Matrixを作成し、曝露量を推計した。
着目疾患	聴神経腫瘍
統計手法	オッズ比の測定
関連性	聴神経腫瘍と電磁界曝露の間には明らかな関連性は認められなかった。
結果	電磁界曝露について0.1 μ T未満・0.11-0.19 μ T・0.2-0.3 μ T・0.3 μ Tより大きい群の4群に分類し検討を行なっているが、0.1 μ Tを参照群としたときに各群において聴神経腫瘍発生についてOdds比の差を認めなかった。また、0.25 μ T以上の曝露を継続的に受けている人についても継続的な曝露がない人と比べてOdds比の差は認めなかった。
評価・判断	聴神経腫瘍と電磁界曝露の間には明らかな関連性は認められなかったが、研究の初期に作られたJEMが12年後の調査時の曝露量を推定するために適しているかは疑問が残るところである。

文献番号	7
題名	Neurovegetative disturbances in workers exposed to 50 Hz electromagnetic fields
著者	Bortkiewicz Alicja; Gadzicka Elżbieta; Zmyślony Marek; Szymczak Wiesław
所属機関	Nofer Institute of Occupational Medicine, Łódź, Poland
収監誌名	Journal of Occupational Medicine & Environmental Health
掲載巻・号	2006 19 (1): 53-60
目的	突然死の原因となる心電図変化と電磁界曝露の関連を検討すること
研究方法	横断研究
対象集団	操車場の変電所にて働く63名と電磁波曝露のない場所で働く42名
曝露評価	作業場所により職業性の電磁界曝露を受ける群と電磁界曝露を受けない群に分類した。電磁界曝露を受ける群については作業環境測定による作業場所での時間当たりの曝露量の測定及び問診による曝露場所での作業時間から曝露量を推定していた。
着目疾患	突然死の原因となる心電図変化と電磁界曝露の関連を検討すること
統計手法	t-検定
関連性	量反応関係は認めなかったが突然死の原因となるような心拍変動は電磁界曝露を受ける群に多かったとしている。
結果	EMF曝露群は平均のR-R間隔が少なかったが、統計学的な有意差は認めなかった。R-R間隔が短く(27ms以下)なっている群は曝露群24%に対し、コントロール群10%と曝露群に多くなっていた。R-R間隔が短くなるOdds比は年齢・性・喫煙歴・飲酒歴を調整した際には2.8であった。また、磁界・電界の曝露量により4つカテゴリーに分類し比較したとことコントロールの間で平均的な心拍数及び心拍の変動については有意差を認めなかった。これらより、量反応関係は認めないが心筋梗塞や突然死を起こす可能性が高くなる心拍変動は電磁界曝露を受ける人により起こりやすいとしている。
評価・判断	電磁界の曝露量と心拍変動について量反応関係を認めなかったため電磁界と心拍変動についてはっきりした因果関係は認めないと考えられる。

2 高周波電磁界の生体影響に関する研究動向

1. はじめに

昨年度に引き続き、18年度における高周波電磁界（以下では、100kHz から 300GHz までの高周波数帯を radiofrequency, RF と総称する）による生体影響の研究動向を報告する。これまでの結果からは、現在の防護指針を満たす範囲で、深刻な健康影響を懸念する根拠は見いだされていない。しかし、長期にわたり人体付近で電波を利用することが、特に若年層にとって、健康に影響を及ぼす可能性などについて、明確な回答は得られていない。このような状況は、昨年までと大きく変わっていない。ただし、RF 電磁界の影響についての研究データは、各国で行われてきた研究プロジェクトの進捗にともない、研究結果の蓄積がさらに大きくなっている。これらのデータは、少なくとも現時点では高周波電磁界が健康への大きな脅威ではないという見解を支持している。

わが国では、1997年度に開始した総務省の生体電磁環境研究推進委員会による10年間の研究プロジェクトが2007年3月に終了し、最終報告書が提出された。疫学、ヒトボランティア実験、動物実験および細胞実験の広い範囲でさまざまな研究が行われた。これらの研究では悪影響を示す結果はなく、悪影響を示唆した過去の研究報告の追試でも、再現されたものはなかった[総務省, 2007]。欧州委員会は、1998 - 2002年に実施した第5次欧州研究開発枠組プログラムで電磁界の健康影響についての取り組みを行い、2002 - 2006年の第6次プログラムでもこれを継続してきた。細胞レベルの研究を行う REFLEX、飲料水などに含まれる化学発がん物質との複合作用を検討する CEMFEC、携帯電話端末による神経系への影響を調査する RAMP2001、聴覚への長期曝露の影響を調べる GUARD、携帯電話の使用と頭頸部腫瘍の関連についての疫学研究を行う INTERPHONE、携帯電話の電波による発がん性を動物実験で評価する RERFORM-A が実施された。これらの多くが区切りを迎え、研究成果を報告している。今年度の新たな報告には、これらの研究成果が含まれている。

本報告では、18年度に公表された新しい研究報告をレビューする。本レビューでは、世界保健機関(WHO)の国際電磁界プロジェクトなどと連動し、国際的な協調のもとで実施された研究を中心に紹介する。

文献（第1章）

総務省 2007. 報道資料 http://www.soumu.go.jp/s-news/2007/070326_2.html

http://ec.europa.eu/health/ph_determinants/environment/EMF/brochure_en.pdf

2. 疫学研究

2.1 携帯電話端末

18年度に新たに公表された研究報告として、日本のインターホン研究のうち、聴神経腫瘍についてのデータが報告された[Takebayashi, et al. 2006]。この研究は、2000-2004年に

診断された、30-69歳の聴神経腫瘍の患者97人と、個別マッチングされた対照330人による症例対照研究である。対照は乱数電話番号(RDD)法により選択された。参加率は患者84%、対照52%であった。曝露情報はインターホン研究の標準の質問方法に準拠して、コンピュータ支援の面接インタビューにより得た。患者の58%、対照の53%が携帯電話を定期的に使用していた。携帯電話の定期的使用は聴神経腫瘍リスクの増大に関連しなかった(OR 0.73, 0.43 - 1.23)。8年以上の携帯電話使用も顕著な影響はなかった(OR 0.79; 0.24 - 2.65; ただし患者4例、対照12例であった)。携帯電話の使用期間、または累積通話回数はリスクの増大に関連しなかった。携帯電話を腫瘍と同側で使用したかどうかについては、リスクの増大に関係しなかった(OR 0.90, 0.50 - 1.62)。

スウェーデンとデンマークのインターホン研究の結果のうち、耳下腺腫瘍に関する結果が新たに公表された[Lönn, et al. 2006]。2000-2002年に診断された、20-69歳の悪性の耳下腺腫瘍患者60人と良性の耳下腺腫瘍患者112人、それらの対照681人からなる研究である。患者は、病院およびがん登録から同定し、対照は住民登録から同定された。曝露評価は、他のインターホン研究と同様に、コンピュータ画面上の質問票を用いたインタビューに基づいて行われた。参加率は悪性腫瘍で85%、良性腫瘍(唾液腺多形性腺腫)で88%、対照で70%であった。携帯電話の定期的使用、使用期間、使用開始からの時間、累積通話時間、累積通話回数のいずれも、悪性腫瘍、良性腫瘍のいずれにおいてもリスクの増大と関連しなかった。良性腫瘍のオッズ比は、統計的に有意ではないが、同側使用の場合に1より大きかった。しかし、それに対応して反対側使用の場合にリスクの減少がみられた。これは過去の研究にも見られた傾向であり、想起バイアスによる結果であると解釈されている。

デンマークのコホート研究の結果が最近報告された[Schüz, et al. 2006a]。この研究は、携帯電話の購入者で構成されたコホートを用いた研究である。このコホートについては過去に報告されている[Johansen, et al. 2001]が、この新しい報告では、2002年までフォローアップを延長し、がん患者数、携帯電話の長期使用者数ともに対象者が増えている。フォローアップの開始時点で定められた購入者と非購入者について、前者を携帯電話使用者として比較が行われた。標準化罹患率(SIR)で相対リスクを評価した結果、携帯電話の使用は、脳腫瘍(SIR=0.97)、聴神経腫(SIR=0.73)、唾液腺腫瘍(SIR=0.77)、眼球腫瘍(SIR=0.96)、白血病(SIR=1.00)のいずれのリスク増大にも関連しなかった。使用期間10年以上の購入者については、脳腫瘍と神経系腫瘍全体でSIR=0.66(CI=0.44-0.95)、白血病でSIR=1.08(CI=0.74-1.52)であった。この研究は、いずれの場合もがんのリスクの増大を見出さず、脳腫瘍と神経系腫瘍を加えたグループについては逆にリスクが減少していた。この研究では、携帯電話使用者からの情報に依存する曝露評価を利用せず、代わりに購入者情報を用いた点に特徴がある。この方法は多くの情報を得ることができる一方で、購入者が実際の使用者とは限らないこと、また、ヘビーユーザである可能性が高い企業契約使用者が、コホートに含まれない問題がある。携帯電話端末購入者を曝露群とみなすこの方法と、従来の質

問票による方法との比較については、別の論文[Schüz 2007]で検討されている(2.2を参照)。Lahkolaらは既発表の12の研究を用いたメタアナリシス(全体で患者2780人)を行い、携帯電話使用による頭蓋内腫瘍への影響の可能性を検討した[Lahkola, et al. 2006]。最も長い使用期間(大半の研究では5年以上)の群を対象として、リスクを推定した。全ての頭蓋内腫瘍の症例を合わせ、神経膠腫、髄膜腫、聴神経腫のそれぞれについて、固定効果、変量効果を計算した。さらに、腫瘍の部位、携帯電話の種類(欧州のアナログ携帯電話 NMT または欧州のデジタル携帯電話 GSM)の違いも評価した。その結果、全てを統合した相対リスクの推定値は1に近く、リスクの増大はなかった。各がんの型や部位に関する解析、または携帯電話のアナログ対デジタルの解析結果でも、リスクは増加しなかった。以上のように、このメタアナリシス研究からは、少なくとも5年までの携帯電話使用による頭蓋内腫瘍のリスク増加は見られなかった。但し、この研究については、各研究の間には有意な不均一性があるという問題点、また個々の研究が持つ次のようないくつかの問題点が指摘されている[IEGEMF, 2006]。曝露評価に関しては、携帯電話使用についての短期の想起でさえも、ランダムエラーが避けられなかったこと、少なくとも携帯電話の日常的使用頭側の申告に情報バイアスが影響したことが明らかであることが指摘された。また、携帯電話使用者が急速に増えているために、いくつかの研究では対照群の代表性に問題がある点、さらに、がんの潜伏期は非常に長く(脳腫瘍の場合20年程度の可能性がある)、一方、携帯電話による曝露が開始してまだ10年程度しか経過していないという問題点が指摘された。さらに、12件の研究を使ったこのメタアナリシスでも、長期使用歴のある対象者数が十分でないという限界が指摘された。

携帯電話と脳腫瘍および聴神経腫瘍に関して、Hardellらのグループが多くの研究結果を報告してきた。その多くは、リスクの増加を示唆するものであったが、研究の品質には多くの批判があった。また、同じデータに基づく解析を繰り返し報告しているという問題もある。このグループが、以前の研究で使用した2つのデータセットを結合して、分析を行った結果を報告した[Hardell, et al. 2006a; Hardell, et al. 2006b]。これらの報告は先の公表論文に本質的に何も追加していない。

2.2 携帯電話利用における曝露評価

Schüzらは、彼らが実施した前述の研究と、以前に報告された同じグループによる症例対照研究(昨年度の報告書に記載[Schüz, et al. 2006b])における曝露評価を比較検討した[Schüz 2007]。この研究では、症例対照研究(症例数1355人)で用いられた質問用紙を用いた自己申告による調査と、上記のコホート研究で用いられた電話会社が提供する購入者データを用いた方法で、相対リスクに異なる傾向があるかどうかを調査した。自己申告の場合は、想起や参加率が曝露の有無によって影響を受ける問題がある。一方、購入者データの場合は、他人や企業名で購入された電話を規則的に使用する場合、あるいは購入した電話を

稀にしか使用しない場合などに、誤分類が生じると推定される。2つの曝露尺度を大規模なデータセットで比較した結果、全体的には両尺度間はかなり良い一致度(カッパ値 0.30, 95%信頼区間 0.23–0.36)であり、低い鋭敏度(30%)と高い特異度(94%)であった。対照および高悪性度の神経膠腫(グリオーマ)患者と比較して、低悪性度の神経膠腫患者、および髄膜腫患者では、一致度が若干良かった。症例対照研究のデータセットにおいて、使用歴の自己申告を用いたオッズ比と購入者データに基づいたオッズ比に大きな違いはなく、聴神経腫瘍ではそれぞれ 0.7 と 0.6、神経膠腫で 0.9 と 1.1、髄膜腫で 0.9 と 0.7 であった。いずれの尺度も関連を低く見積もる可能性がある点に限界があることが示され、小さなリスクの検出に十分かどうかには懸念があると著者は述べている。

携帯電話の使用歴に関する想起バイアスと確率誤差が症例対照研究の結果に及ぼす影響について、IARC でインターホン研究に従事している研究者が行ったモンテカルロ法によるシミュレーション研究が報告された[Vrijheid, et al. 2006]。まず、175,000 人の基本集団を設定し、これに“真の”長期曝露分布を仮定する。次に、この集団の病気状態を指定し、患者 1000 人、対照 2000 人を得る。このサンプリングを分析ごとに 5000 回繰り返す。想起バイアスを評価するため、実際の曝露と自己申告の曝露の関係について乗法的エラーモデルを採用した。無差別的(非系統的)想起エラーは、予想されるとおり相対リスクを 1 の値の方向へバイアスさせた。患者の不確かさが対照の不確かさより大きい場合に、無差別的確率誤差によって 1 の方向へのバイアスが起きた。同様の希釈効果は、患者が曝露を過大または過小に申告をした場合にも生じた(対照の場合、このような現象は起きなかった)。また、予想されるとおり、非曝露である対照の選択が過小の場合に、相対リスクが 1 に近づく方向にバイアスした。一方、曝露に属する対照の過小選択は反対の効果を示した。曝露変数がカテゴリーデータの場合の方が、連続的データの場合より、選択バイアスの影響がより強い。結論として、インターホン研究で収集されたデータの妥当性確認研究において観察された誤差と同程度の大きさを仮定した場合に、確率誤差が最も強い歪みをもたらし、誤差の多くは影響を過小評価する結果を生み出す傾向があるとしている。

2.3 基地局からのばく露の影響

基地局の近隣に居住することによる主観的症状や認知機能への影響を評価する研究がオーストリアで行われた[Hutter, et al. 2006]。10カ所の携帯電話基地局の周辺に居住する人から調査対象者が選ばれた。調査対象者は、都市地域(Vienna)185人と郊外地域(Carinthia)180人の計365人であった。参加率は都市地域が60%以下、郊外地域が68%であった。調査対象者の寝室で電界強度の地点計測が行われ、基地局からの最大曝露は、基地局のチャンネル数に基づいて計算された。分析には最大曝露の推定値が用いられた。平均曝露レベルが0.04、0.23、1.3 mW/m²の3つの曝露群間で比較が行われた。記憶課題、選択反応課題、知覚速度テストにより認知機能を評価した。結果として、睡眠の質および認知機

能に明瞭な差異は見出さなかったが、高曝露群で知覚速度が速くなる傾向が見られた。年齢、性別、居住地域、携帯電話の使用、基地局による悪影響についての不安の有無について調整を行った後の集計では、主観的症状 14 項目の内の 3 項目(頭痛、手足の冷感、集中の困難さ)の有症率について、最も高レベルの曝露群で 1.3 から 1.6 倍に増大し、統計的に有意であった。この報告に対する SSI による評価では、社会人口統計学的ファクターなど、主観的健康の決定要素の網羅した調整が行われていないため、交絡が問題であると指摘している [IEGEMF 2006]。

別の報告では、寝室においたデジタルコードレス電話(DECT)基地局(親機)からの曝露について述べているが、リスクの増加はなかった[Schüz, et al. 2006c]。この研究は、高い参加率であったが、十分な統計的パワーはなかったとされている。

インターホン研究では、携帯電話端末からの曝露の影響が研究の対象であった。これに対して、携帯電話基地局の建設が増加するにしたがい、基地局周辺住民への影響を調べる疫学研究への需要が高まっている。このような研究の方法論が、工学者、疫学研究者からなるパネルによって評価がされ、その結果が報告された[Neubauer, et al. 2007]。これまでの研究の長所、短所を明らかにし、曝露評価におけるドシメトリの概念および重要点が、疫学研究の観点から評価された。その結果、基地局に関する疫学研究は原理的には適切であると結論された。しかし、関連する全ての RF 発生源からの曝露への寄与を考慮に入れるべきであること、また、適用する曝露評価方法を試験的に使って、有効性を確認すべきであるとされた。QOL に関連する、生理学的または健康への短期的、中期的影響はコホート研究によって最もよく調べることができる。長期的影響については、高度曝露の可能性のある集団を同定することがまず求められる。急性影響については、人を対象とした実験室研究が推奨されるアプローチである。

このような検討に基づき、欧州では携帯電話基地局周辺での疫学研究が一部スタートしているため、注視する必要がある。

2.4 疫学研究のまとめ

携帯電話端末による影響については、国際がん研究機関(IARC)が中心となり、わが国を含む 13 カ国が参加した、携帯電話の使用と頭頸部の腫瘍に関する国際共同疫学調査(インターホン研究)が終了し、全体研究の結果公表が待たれている。公表は予定より遅れており、2007 年末から 2008 年頃になると予想される。これまでに、インターホン研究に参加している 13 カ国の国別の結果、あるいは地域でのプール分析結果がいくつか公表されてきた。昨年度までに報告したとおり、短期の使用については関連が見られず、10 年以上の長期の継続的な使用については、一部でリスクの上昇が示唆される例もある。しかし、曝露評価における想起バイアスの可能性が排除できない、などの問題点も指摘されてきた。この状況にあまり変化がない。これまでの複数の研究をまとめたメタアナリシスが行われたが、結論を

導くのに十分な結果とはいえない。全体研究の結果公表が待たれるが、要素となる国別研究の結果の相当数が出揃っているので、決定的な違いは期待できない。むしろ、この状況を IARC がどのように位置づけるかが注目される。

インターホン研究に関する曝露評価の方法論の検証が行われている。このような研究は、超低周波磁界を含め、電磁界の影響のようにハザードが明確でなく、相対リスクが存在するとしても小さく、かつ社会的な関心が高い問題についての疫学研究の一般的な問題点を洗い出す上では非常に重要な研究である。

最近の新しい動きとして、携帯電話端末の使用に関するインターホン研究の終了後の研究として、これまでのインターホン研究では除外されていた子供を対象とした疫学研究、基地局からの RF 曝露の影響に関する疫学研究、端末についての大規模なコホート研究の実施計画の議論が進められている。研究に一部着手していると国もあるといわれる。基地局からの曝露についての疫学研究については、方法論の考察が最近発表されている。結論として方法論的に適正であるとしているが、端末からの曝露に比べて大きいとはいえない基地局からの曝露を適正に評価できるかどうかは疑問である。

文献（第2章）

- Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. 2006a. Pooled analysis of two case-control studies on the use of cellular and cordless telephones and the risk of benign brain tumours diagnosed during 1997-2003. *Int J Oncol* 28(2):509-18.
- Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. 2006b. Pooled analysis of two case-control studies on use of cellular and cordless telephones and the risk for malignant brain tumours diagnosed in 1997-2003. *Int Arch Occup Environ Health* 79(8):630-9.
- Hutter HP, Moshammer H, Wallner P, Kundi M. 2006. Subjective symptoms, sleeping problems, and cognitive performance in subjects living near mobile phone base stations. *Occup Environ Med* 63(5):307-13.
- IEGEMF. 2006 . Recent Research on EMF and Health Risks. Fourth annual report from SSI's Independent Expert Group on Electromagnetic Fields. Stockholm: Statens Strålskyddsinstitut.
- Johansen C, Boice J, Jr., McLaughlin J, Olsen J. 2001. Cellular telephones and cancer--a nationwide cohort study in Denmark. *J Natl Cancer Inst* 93(3):203-7.
- Lahkola A, Tokola K, Auvinen A. 2006. Meta-analysis of mobile phone use and intracranial tumors. *Scand J Work Environ Health* 32(3):171-7.
- Lönn S, Ahlbom A, Christensen HC, Johansen C, Schüz J, Edstrom S, Henriksson G, Lundgren J, Wennerberg J, Feychting M. 2006. Mobile phone use and risk of parotid gland tumor. *Am J Epidemiol* 164(7):637-43.
- Neubauer G., Feychting M., Hamnerius Y., Kheifets L., Kuster N., Ruiz I., Schüz J., Uberbacher

- R., Wiart J. and Roosli M. 2006. Feasibility of Future Epidemiological Studies on Possible Health Effects of Mobile Phone Base Stations. *Bioelectromagnetics* 28:224-230.
- Schüz J, Jacobsen R, Olsen JH, Boice JD, Jr., McLaughlin JK, Johansen C. 2006a. Cellular telephone use and cancer risk: update of a nationwide danish cohort. *J Natl Cancer Inst* 98(23):1707-13.
- Schüz J, Bohler E, Berg G, Schlehofer B, Hettinger I, Schlaefer K, Wahrendorf J, Kunna-Grass K, Blettner M. 2006b. Cellular phones, cordless phones, and the risks of glioma and meningioma (Interphone Study Group, Germany). *Am J Epidemiol* 163(6):512-20.
- Schüz J, Bohler E, Schlehofer B, Berg G, Schlaefer K, Hettinger I, Kunna-Grass K, Wahrendorf J, Blettner M. 2006c. Radiofrequency electromagnetic fields emitted from base stations of DECT cordless phones and the risk of glioma and meningioma (Interphone Study Group, Germany). *Radiat Res* 166(1 Pt 1):116-9.
- Schüz J. 2007. A Comparison of Self-Reported Cellular Telephone Use With Subscriber Data: Agreement Between the Two Methods and Implications for Risk Estimation. *Bioelectromagnetics* 28:130-136.
- Takebayashi T, Akiba S, Kikuchi Y, Taki M, Wake K, Watanabe S, Yamaguchi N. 2006. Mobile phone use and acoustic neuroma risk in Japan. *Occup Environ Med*.
- Vrijheid M, Deltour I, Krewski D, Sanchez M, Cardis E. 2006. The effects of recall errors and of selection bias in epidemiologic studies of mobile phone use and cancer risk. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 16(4):371-84.

3. ボランティア被験者研究

3.1 主観的症状

昨年度も報告したとおり、オランダ応用科学研究機関（TNO）は、RF 電磁界に高感受性であると自覚する被験者とそうでない被験者のいずれも、2140 MHz の第 3 世代の携帯電話方式(UMTS)の波形に曝露後に、アンケート調査の「安寧」（well-being）のスコアが有意に低下し、第 2 世代である 945 MHz および 1840 MHz の GSM 方式の電波への曝露では、このような低下が見られないことを二重盲検法による実験によって見出した[Zwamborn, et al. 2003]。しかし 4 つの認知機能テスト項目で、統計的に有意な差異があったものの、信号波形の種類、認知テストの種類、感受性についてグループ間で一貫したパターンが見られなかったため、曝露と擬似曝露の比較で見られた有意差が、偶然の結果である可能性が排除されず、追試実験の必要性が指摘されていた。

この追試実験の結果の一つが報告された[Regel, et al. 2006]。この研究では、TNO の研究で Zwamborn らが用いたものと同じの、2140 MHz の UMTS 基地局信号に似た RF 信号を用いた実験のみが行われた。被験者は、33 人の RF 高感受性者と 84 人の非高感受性者で、安寧度と認知機能への影響が調べられた。3 つの実験セッションが 1 週間をおいて行われた。曝露条件は、0 V/m の擬似曝露、Zwamborn らと同一条件である 1 V/m、量 - 反応関係を

調べるための 10 V/m をそれぞれ 45 分間とした。脳のピーク SAR 値(10g 平均)は、1 V/m で 45 μ W/kg、10 V/m で約 4.5mW/kg であり、ICNIRP ガイドライン値より十分低い。安寧度は 3 つの標準的質問紙法を用いて調べられた。このうち 1 つは先行の TNO 研究で用いたものと同じである。認知機能は、単純反応時間課題、2 択反応時間課題、N-back 課題、視覚選択課題を用いて調べた。最後の課題は、Zwamborn らが TNO 研究で用いたものと同じである。結果は、安寧度および認知能力に関して、Zwamborn らの結果と異なり、安寧度は、どの曝露レベルでも影響を受けなかった。RF 高感受性の被験者が主観的な症状をより多く申告したが、曝露に関連した影響は見出さなかった。認知機能についても影響は見られなかった。例外として、高レベル曝露時に二つの点で差異が見られた。それは、RF 高感受性被験者で、6 つの認知課題のうちの 1 つ(選択反応時間課題)で速度に差がみられたこと、非高感受性被験者で、1 つ(1-back 課題)で正確性に差が見られた。しかし、多重比較の影響を調整した結果、有意ではなかった。視覚選択的注意課題でも、TNO の結果と異なり、有意な影響を見出さなかった。

別の研究として、Rubin らは携帯電話の RF 電磁界に対して高感受性であると自覚する被験者と、そうでない被験者に対し、携帯電話からの RF 電磁界曝露によって経験する症状の重大さを比較した [Rubin, et al. 2006]。高感受性被験者と非高感受性被験者はそれぞれ 60 名である。被験者は、50 分間の曝露または擬似曝露を受ける。曝露に用いた信号は、900 MHz の GSM 方式のパルス波と、無変調の連続波とし、電話機に近接する頭部領域での局所 SAR は 1.4 W/kg (携帯電話の使用で生じるレベルと同程度)である。曝露前、曝露中、曝露後に、頭痛や吐き気、疲労、浮動性めまいなどの種々の症状の重大さについて、アナログスケールでスコア付けすることを求めた。その結果、高感受性者で、曝露中に GSM 信号の RF 電磁界を感じると自覚した人の割合 (60%) は、擬似曝露中に感じる人の割合 (63%) と同等であった。また、曝露および擬似曝露中に症状を経験したと回答した割合は、GSM 携帯電話からの電波に対して高感受性と考える人の方が、非高感受性の被験者より遙かに高かったが、症状の有無は曝露の有無とは無関係であった。高感受性者の場合には、症状が深刻なため研究から脱退したケースもあった。Rubin らは、症状を予期する心理的要因が、病因の重要な役目を果たしていると述べている。

Eltiti らは、EHS に関係する症状が英国の一般住民にどの程度の頻度で起きているかを決定するために、その主要な症状を同定するための質問紙を開発した [Eltiti, et al. 2007]。研究 1 では、パイロットスタディの結果を踏まえて改訂した質問紙を、無作為に選ばれた 20,000 人に郵送した。主成分分析の結果、症状は 8 個のサブスケール (交感神経系、皮膚、聴覚、頭痛、心呼吸系、冷感、運動系、アレルギー) からなることが示された。研究 2 では、8 つのサブスケール全てにおいて、EHS 群は対照群と比べて高い重篤度を示したことにより、この質問紙の validity を確立した。この研究から、自らを EHS と信じる人々が体験する症状の種類と重篤度の指標となる尺度と、研究者が高感受性者を研究の対象とするための事前

選択のスクリーニングツールが得られた。

3.2 認知機能

昨年度までに報告したとおり、RF 電磁界の曝露により反応時間が短縮するという先行研究[Koivisto, et al. 2000; Preece, et al. 1999]には、否定する結果が相次ぎ、再現性に疑問が持たれていた。その後の研究について紹介する。

Russo らは、888 MHz の連続波 (CW) および GSM 方式の信号波形の RF 電磁界曝露による認知機能への影響を、先行研究より被験者数 (168 人の男女) を増やし、統計的検出力を高めて検討した[Russo, et al. 2006]。被験者は曝露下で行う課題セッションと擬似曝露下で行う課題セッションを 1 週間の間隔をおいて行った。利き手に関係なく、被験者の半数は頭部左側、他の半数は頭部右側に曝露を受けた。実験は二重盲検法で行われた。これは、多くの先行研究からの改善点である。認知機能の評価には、先行研究と同様の課題として、反応時間課題、10 選択連続反応時間課題、引き算課題、覚醒課題が用いられた。これら課題の提示順はカウンターバランスされた。結果として、曝露頭側にかかわらず、RF 電磁界曝露の認知機能への有意な影響は見られなかった。

Keetley らは、GMS 方式の RF 電磁界曝露による認知機能への影響を、120 人の男女の被験者について二重盲検法を用いて調べた [Keetley, et al. 2006]。被験者は曝露下での課題セッションと擬似曝露下での課題セッションを 1 週間の間隔をおいて行った。認知機能の検査は、Rey の聴視覚学習テスト、デジタルスパンテスト、デジタルシンボル置き換えテスト、理解速度テスト、試行作成課題、反応時間課題、選択反応時間課題、観察時間課題の 8 種の課題を用いて評価し、各課題はカウンターバランスをとって提示した。共変量である性別、年齢、教育歴を調整した後では、反応時間課題、選択反応時間課題は有意な機能低下を示した。一方、記憶に係る試行作成課題の成績は有意に改善した。著者らは、先行研究と異なる結果であることについて、先行研究が共変量を修正していないためであるとしている。

イスラエルの研究が、認知機能への影響を示唆したことを昨年度の本報告で述べた。その報告について、やや詳しく述べる。Eliyahu らは、脳の特定位点への照射がその部位に関連した認知機能に影響を及ぼす可能性を調べた。36 人の右利きの青年男子に、GSM 携帯電話の電波を頭部右側または左側に照射し、脳半球の位置特異性が高い 4 種の認知機能課題への影響を調べた [Eliyahu, et al. 2006]。検査課題は、空間特徴認知課題 (右側の前運動皮質の活性化)、言語特徴認知課題 (左側の頭頂後皮質および前運動皮質の活性化)、および 2 種の空間適合性課題 (テストスクリーン上の左側の視覚刺激は左側頭頂後皮質を活性化し、右側のものは右側頭頂後皮質を活性化する) とした。実験は単純盲検法で行われ、曝露と擬似曝露の順序および課題の順序はカウンターバランスをとって実験された。各課題の正答時の反応時間を、左手での反応、右手での反応について、それぞれの曝露条件(左、右、擬似)別

に比較した。結果は、被験者が右利きであるために一般的に右手の反応のほうが左手の反応より速く、また訓練効果によって反応時間が 2 回目のセッションのほうが速くなる傾向で、この傾向は擬似曝露で最も強く現れた。著者らは、左半球への曝露が、右前運動皮質を活性化すると解釈される空間特徴認知課題、および左頭頂皮質を活性化すると解釈される空間適合性課題で、1 回目より 2 回目のセッションで左手の反応が遅くなったと報告している。しかし、左半球の曝露で両半球の活性化が関係する機能に変化が見られたことから、これが曝露した半球に依存するということとはできないと述べている。この研究は、影響がある可能性を示唆しているものの、一貫性のある結果でなく、また再現性も確かめられていない。

認知機能への影響については、実験品質の改善に伴い、影響が見られなかったという報告が増えているが、一方で、これらのように何らかの変化を示唆する研究もなくなる。影響が存在しないと言い切ることはできないが、再現性のある影響であるということとはできない。

3.3 生理学的影響

心拍および血圧への影響について、Braune らは GSM 方式の携帯電話を 35 分間使用することにより、心拍数のわずかな減少と血圧の 5 - 10mmHg の上昇を報告したが、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, et al. 2002]。その後、Tahvanainen らはさらにこの現象の追試験を行い、携帯電話の使用が血圧や心拍に急性の影響を与えないことを再確認している [Tahvanainen, et al. 2004]。これらの実験は、パルス状の波形をもつ GSM 方式の信号波形を用いていた。CDMA 方式の波形（パルス状でなく、雑音のような波形である）を用いた研究結果が CDMA 方式を採用している韓国から報告された。なお、この研究では、成人だけでなく 10 代の若者が被験者となっている [Nam, et al. 2006]。

この研究では、10 代若者 21 人、成人 21 人の 2 つのボランティア被験者群に、CDMA 携帯電話が放射する出力電力 300 mW の RF 電磁界を 30 分間曝露した。生理学的パラメータとして、拡張期・収縮期血圧、心拍数、呼吸数、皮膚電気抵抗を測定した。結果は、10 代若者群の皮膚電気抵抗が減少した ($P < 0.0001$) ことを除き、曝露に関連した変化は見られなかった。また、年齢層でなく性別で男性 23 人、女性 19 人にグループ分けし直した場合も、男性群の皮膚電気抵抗が減少した ($P < 0.0026$) ことを除き、影響は見られなかった。皮膚電気抵抗は、曝露 10 分後に安静時の値に戻った。著者らは結論を見いだすためには追試実験が必要であると述べている。

Parazzini らは、低レベルの RF 曝露による自律神経系 (ANS) の心機能調節への影響を調べるため、健康な若年ボランティア 26 人に、900 MHz の GSM 方式の電波を用いた実験を行った [Parazzini, et al. 2007]。安静 起立プロトコルを用いて、安静時 (迷走神経優位) と起立後 (交感神経活性化後) の自律神経系機能を調べた。実験は二重盲検法で 2 回 (RF 電磁

界曝露と擬似曝露、最短 24 時間の間隔) 行った。各セッション中、3 電極誘導法により心電図を記録し、オフラインで心拍周期 (RR 間隔) を抽出した。時間領域、周波数領域の心拍変動性 (HRV) パラメータを、プロトコルの各フェーズに対して算出した。結果は、HRV の主要パラメータ (RR 間隔平均) の大半で、統計的に有意な影響を示さなかった。ただし、時間領域での心拍間隔標準偏差 (SDNN)、心拍間隔ヒストグラム指標 (TINN)、および HRV の周波数領域での低周波成分 (0.04 - 0.15 Hz) が RF 曝露と弱い関連を示した。これらの影響は、起立反射に関係していると考えられた。しかし、検出された差異はわずかであり、RF 電磁界が HRV に影響を及ぼすことはないという従来の一般的な結論を変えるものではないこと、再現性を実験的に確認することが必要であると著者らは述べている。

Wilén らは、RF プラスチックシーラーの操作者群 (n=35) が対照群 (n=37) に比べて夜間の心拍数が低いことを示した自身らの先行研究 [Wilén, et al. 2004] に加えて、リズム障害の可能性を考察するために、同じ被験者グループについて、心拍変動 (HRV) を分析した結果を報告した [Wilén et al. 2007]。その結果、RF シーラー操作者群は対照群に比べて夜間の HRV の総パワーおよび VLF 成分 (0.003 - 0.05 Hz) のパワーが有意に上昇することを見出した。著者らは、以前の結果と合わせて考えると、RF 操作者群では心機能の副交感神経系調節が相対的に上昇する可能性が示唆されるとし、その理由は、長期にわたる低レベル温熱環境によって、RF 操作者群の温度調節機構および心機能の自律神経調節が順応したことによるのかもしれないと述べている。

3.4 脳波および事象関連電位

脳の電氣的活動に RF 電磁界がどのような影響を及ぼすかを調べる研究は以前から行われている。脳の電氣的活動は、安静時の自発的活動からの情報と、感覚器の反応に起因する電氣的活動や特定の感覚刺激により誘発される一連の認知過程に起因する電氣的活動 (事象関連電位または誘発電位) によって評価される。安静時脳波は、個人内変動が大きく、解釈が難しい。一方、事象関連電位は再現性がよく、変動が小さいため、携帯電話による RF 照射の影響研究によく用いられる。

Krause らは、小児の事象関連局所脳律動反応に対する携帯電話からの RF 照射による影響を調べた [Krause, et al. 2006]。脳電氣活動の様々な周波数帯は、感覚の処理、注意、記憶などの認知機能にそれぞれ関連し、例えば、4 - 8 Hz 帯は情報のエンコーディングや検索に関連するとされている。刺激処理中に、特定の周波数帯のパワーが無刺激時に比較して相対的に減少する事象関連脱同期 (event-related desynchronisation; ERD) と相対的に増加する事象関連同期 (event-related synchronisation; ERS) について、10-14 歳の小児 15 人に聴覚刺激記憶課題を課して調べた。GSM 方式の携帯電話端末の実機 (902 MHz) を利用して、被験者の左側の後側頭部に電話機端末を設置して RF 電磁界を曝露した。携帯電話機のスイッチ ON 時と OFF 時について各 30 分間の脳波を記録した。RF 電磁界の照射は被験

者間でカウンターバランスをとり、実験は二重盲検法で行った。RF 照射の結果として、エンコーディングと再認知課題中に何ヶ所かの頭蓋上の記録部位において 4-8 Hz の周波数帯に、また、認知課題中に 1ヶ所で 15 Hz 以下の周波数帯に、それぞれ ERD/ERS 反応に有意な差異が見られたと報告している。

Hamblin らは RF 曝露が、聴覚および視覚事象関連電位の反応時間、振幅、潜時に及ぼす影響を調べた[Hamblin, et al. 2006]。二重盲検法により、120 人の被験者を用い、カウンターバランスをとった実験デザインとし、2つのセッションを1週間の間隔をおいて実施した。各セッションの始めは擬似曝露、次に GSM 方式の信号波形の 895 MHz の曝露または擬似曝露とした。聴覚及び視覚のオドボール課題における反応時間、聴覚及び視覚刺激に由来する事象関連電位の早期成分および後期成分を記録した結果、反応時間への影響はなく、事象関連電位の各成分についても統計的に有意な影響はなかった。この結果は、著者らによる先行研究 [Hamblin, et al.2004]の結果とは異なる。著者らは結論として、事象関連電位や反応時間に対する、携帯電話が関係する電磁界影響を支持する明確な証拠は現在のところないとしている。

Yuasa らは携帯電話からの RF 電磁界曝露による体性感覚事象関連電位への影響を調べた [Yuasa, et al. 2006]。曝露および擬似曝露は、頭部から 4cm 以内の位置で、30 分間、手で保持した日本の PDC 方式の携帯電話機からの 900 MHz 帯 RF の照射で行った。被験者は 12 人で、実験は単純盲検法で行われた。曝露前、中、後に、左腕に与えた中程度の神経刺激によって右脳半球の感覚野に誘発される事象関連電位を記録した。結果は、RF 曝露が体性感覚事象関連電位に影響せず、その回復機能にも影響しなかった。著者らは、体性感覚刺激の神経伝達系や感覚皮質の大きなニューロンは携帯電話の照射の影響を受けないとした。Maby らは、GSM 方式の RF 曝露が聴性事象関連電位に及ぼす影響を調べた[Maby, et al. 2006]。曝露および擬似曝露のそれぞれに対し、曝露前と曝露中の聴性事象関連電位を記録して、N100 および P200 の振幅および潜時などの電気生理学的パラメータへの影響を 9 人の健常者と 6 人のてんかん患者で比較した。実験は単純盲検法である。健常者では、携帯電話に近接した頭側での N100 潜時と振幅の減少がみられたのに対し、てんかん患者では、反対の頭側での N100 潜時の増大がみられたと報告している。

Ferreri らは、GSM 方式の携帯電話からの RF 電磁界照射が皮質の興奮性に及ぼす影響を調べた[Ferreri, et al. 2006]。被験者は 15 人の青年ボランティアで二重盲検法で実験は行われた。RF 曝露前後に、手の目標筋肉に運動誘発電位を発生させるための経頭蓋的磁気刺激 (TMS) を運動皮質に与える方法を用いた。全被験者は 1 週間の間隔をおいて 2 回の試行を行った。被験者の左頭側を 45 分間にわたり RF 電磁界の照射または擬似照射を行い、右頭側をコントロールとした。曝露前と曝露直後、ならびに曝露 1 時間後に、二発 TMS 技法が各頭側に適用された。統計的有意性は境界値($p=0.07$)であったが、曝露側半球における皮質間内抑制の一過性減少と皮質間内促進の一過性増大が見られたと報告している。

3.5 ボランティア研究のまとめ

昨年度も報告したとおり、2005年12月に、WHOは電磁過敏症（Electromagnetic Hypersensitivity, EHS）についてのファクトシート[WHO 2005]を公表した。この文書は、EHSが皮膚症状（発赤、チクチク感、灼熱感）、神経衰弱症、自立神経系の症状（倦怠感、めまい、どうき）など、人によって異なる多様な非特異的症状であることを指摘し、このような症状が存在することを認めた。その一方で、EHSの症状と電磁界による曝露の因果関係を示す科学的根拠は存在しないと声明した。また、これまでの大多数の研究の結果から、症状が電磁界曝露の有無と関連しないこと、EHSの症状を持つ人がEHSでない人より正確に電磁界曝露を自覚して検出できる訳ではないと述べた。さらに、電磁界とは直接関係しない環境因子（空気の質、騒音、照明のちらつき等）や電磁界の健康影響を恐れる結果としてのストレスを原因の一つとして示唆する研究もあることを指摘した。

TNO報告の実験プロトコルを改良して実施した追試研究では、TNOが報告した認知成績や安寧度への影響は、高感受性者でも非高感受性者でも検出されなかった。電磁界に高感受性であると自覚する人は携帯電話使用中の頭痛、吐き気、目まいなどの症状を報告する率が、非高感受性者より非常に高いが、これは、曝露状態とは無関係であり、その様な影響を自覚的に予期することの反映と考えるべきであることを示す報告が蓄積されている。これらの結果はWHOによるファクトシートの論点を裏付けるものである。

RF電磁界曝露の認知機能への影響についての結論は明快とはいえない。曝露群と擬似曝露群で差異が検出されている例は存在するが、結果に一致性はなく、認知機能への明確な影響は1つも同定されていない。全般的には、最近公表された品質の良い研究は、初期の研究で報告された陽性結果の再現性を否定する傾向がある。

誘発電位、事象関連電位は自発脳波より再現性に優れ、変動も小さい。最近の品質の良い実験研究は、RF照射は事象関連電位に影響しないことを示している。電磁界の曝露による人体への電磁氣的な擾乱は、脳の電気生理学的な活動に比べて極めてわずかである。このため、微弱な電磁界が影響を及ぼす可能性は考えにくい。特に、感覚器系から中枢に至る比較的単純な経路に関係する聴性脳幹反応(ABR)などへの影響の存在は考えにくい。

心拍変動などへの生理学的影響については、明確な結論を出すことが難しい。少なくとも、微弱な電磁界が影響を及ぼすメカニズムは考えにくく、変化が仮に事実であったとしても健康に悪影響を及ぼすかどうかは明らかでない。

ボランティア被験者についての実験は、いずれの場合も被験者の主観や心理状態、注意や覚醒水準などの変動によって結果が影響されることが避けられず、解釈が難しい。結論を明確にすることは困難であるが、悪影響があるという結論は得られていない。

文献 (第3章)

- Braune S, Riedel A. et al, 2002. Influence of a radiofrequency electromagnetic field on cardiovascular and hormonal parameters of the autonomic nervous system in healthy individuals. *Radiat Res* 158:352-356.
- Eliyahu I, Luria R, Hareuveny R, Margaliot M, Meiran N, Shani G. 2006. Effects of radiofrequency radiation emitted by cellular telephones on the cognitive functions of humans. *Bioelectromagnetics* 27(2):119-26.
- Eltiti S, Wallace D, Zougkou K, Russo R, Joseph S, Rasor P, Fox E. 2007. Development and Evaluation of the Electromagnetic Hypersensitivity Questionnaire. *Bioelectromagnetics* 28:137-151.
- Ferreri F, Curcio G, Pasqualetti P, De Gennaro L, Fini R, Rossini PM. 2006. Mobile phone emissions and human brain excitability. *Ann Neurol* 60(2):188-96.
- Hamblin DL, Wood AW, Croft RJ, Stough C. 2004. Examining the effects of electromagnetic fields emitted by GSM mobile phones on human event-related potentials and performance during an auditory task. *Clin Neurophysiol* 115(1):171-8.
- Hamblin DL, Croft RJ, Wood AW, Stough C, Spong J. 2006. The sensitivity of human event-related potentials and reaction time to mobile phone emitted electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* 27(4):265-73.
- Keetley V, Wood AW, Spong J, Stough C. 2006. Neuropsychological sequelae of digital mobile phone exposure in humans. *Neuropsychologia* 44(10):1843-8.
- Koivisto M, Revonsuo A, Krause C, Haarala C, Sillanmaki L, Laine M, Hamalainen H. 2000. Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. *Neuroreport* 11(2):413-5.
- Krause CM, Bjornberg CH, Pesonen M, Hulten A, Liesivuori T, Koivisto M, Revonsuo A, Laine M, Hamalainen H. 2006. Mobile phone effects on children's event-related oscillatory EEG during an auditory memory task. *Int J Radiat Biol* 82(6):443-50.
- Maby E, Jeannes Rle B, Faucon G. 2006. Scalp localization of human auditory cortical activity modified by GSM electromagnetic fields. *Int J Radiat Biol* 82(7):465-72.
- Nam K. C., Kim S. W., Kim S. C., Kim D. W. 2006. Effects of RF Exposure of Teenagers and Adults by CDMA Cellular Phones. *Bioelectromagnetics* 27:509-514.
- Parazzini M., Ravazzani P., Tognola G., Thuroczy. G., Molnar F. B., Sacchettini A., Ardesi G., Mainardi L. T. 2007. Electromagnetic Fields Produced by GSM Cellular Phones and Heart Rate Variability. *Bioelectromagnetics* 28:122-129.
- Preece AW, Iwi G, Davies-Smith A, Wesnes K, Butler S, Lim E, Varey A. 1999. Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. *Int J Radiat Biol* 75(4):447-56.
- Regel SJ, Negovetic S, Roosli M, Berdinas V, Schuderer J, Huss A, Lott U, Kuster N, Achermann P. 2006. UMTS base station-like exposure, well-being, and cognitive performance. *Environ*

Health Perspect 114(8):1270-5.

- Rubin GJ, Hahn G, Everitt BS, Cleare AJ, Wessely S. 2006. Are some people sensitive to mobile phone signals? Within participants double blind randomised provocation study. *Bmj* 332(7546):886-91.
- Russo R, Fox E, Cinel C, Boldini A, Defeyter MA, Mirshekar-Syahkal D, Mehta A. 2006. Does acute exposure to mobile phones affect human attention? *Bioelectromagnetics* 27(3):215-20.
- Tahvanainen K, Niño J, et al. 2004. Cellular phone use does not acutely affect blood pressure or heart rate in humans. *Bioelectromagnetics* 25:73-83.
- WHO 2005. Electromagnetic fields and public health Electromagnetic Hypersensitivity. Fact sheet No.296 (December 2005) <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs296/en/print.html>
- Wilén J, Wiklund U., Hornsten R., Sandstrom M. 2007. "Brief Communication" Changes in Heart Rate Variability among RF Plastic Sealer Operators. *Bioelectromagnetics* 28:76-79.
- Wilén J, Hornsten R., Sandstrom M., Bjerle P., Wiklund U., Stensson O., Lyskov E., Hansson Mild K. 2004. Electromagnetic field exposure and health among RF plastic sealer operators. *Bioelectromagnetics* 25(1):5-15.
- Yuasa K, Arai N, Okabe S, Tarusawa Y, Nojima T, Hanajima R, Terao Y, Ugawa Y. 2006. Effects of thirty minutes mobile phone use on the human sensory cortex. *Clin Neurophysiol* 117(4):900-5.
- Zwamborn A, Vossen S, van Leersum B, Ouwens M, Mäkel W. 2003. Effects of global communication system radio-frequency fields on well being and cognitive functions of human subjects with and without subjective complaints. The Hague, Netherlands: TNO Physics and Electronics Laboratory (TNO-report FEL-03-C148). Available from: URL:www.ez.nl. See also www.gr.nl/pdf.php?ID=1042. Report nr TNO-report FEL-03-C148.

4. 細胞実験および動物実験研究

4.1 遺伝細胞毒性

昨年度の報告書で述べたように、2004年5月末に完了した欧州の研究プログラム REFLEX(Risk Evaluation of Potential Environmental Hazards From Low Energy Electromagnetic Field Exposure Using Sensitive in vitro Methods)の結果では、携帯電話程度の弱い RF 電磁界曝露でもさまざまな影響が報告されていた[REFLEX 2004]。

REFLEX 研究で陽性結果を報告した2つの研究 [Diem, et al.2005, Ivancsits, et al. 2005] は、RF および ELF 電磁界に曝露した細胞で DNA 鎖の切断が増加するとしたが、Vijayalaxmi はその研究方法とデータの解釈に疑問を表明した[Vijayalaxmi, et al. 2006]。この問題提起に対する REFLEX 研究グループからの回答[Rüdiger, et al. 2006]によれば、Diem らの生データを検証した結果、指摘の通り、原論文で用いた統計的手法に誤りがあったものの、より適切な統計的方法を用いることで、これらの生データから RF 曝露群と擬似

曝露群に有意な差異があることを検出可能であると述べた。

SSIによる報告[IEGEMF, 2006]でもこの経緯に言及しており、Vijayalaxmiの指摘通り、報告された影響は、電磁界が引き起こしたDNA損傷というより、むしろアポトーシスの増加によるものである可能性があるとしている。また、小核形成、バクテリアの復帰突然変異、DNA鎖切断、染色体異常、姉妹染色分体変化などを検出目標とした最近の報告[Chang, et al.2005; Komatsubara, et al. 2005; Sakuma, et al. 2006; Scarfi, et al. 2006; Stronati, et al. 2006]のいずれも、RF曝露による影響を見いだしていないことを、報告を疑問視する根拠として挙げている。このように、REFLEXの結果については、多くの否定的な報告が追加される一方で、影響の存在を支持する報告は無い。

Stronatiは、1または2 W/kgのGSM方式の935MHzのRF電磁界に24時間曝露したヒトリンパ球への影響を、RF電磁界単独の場合および電磁界曝露前後にX線曝露を組み合わせた場合について調べた[Stronati 2006]。DNA鎖切断(アルカリコメットアッセイ法)、染色体異常、姉妹染色分体の変化、小核形成などを検出目標としたが、すべての項目についてRF曝露単独の影響はなく、また、RFはX線の影響を修飾しなかった。

Chauhanらは、ヒト由来の細胞(TK6,HL60,Mono-Mac-6)を用いて、アポトーシス、細胞周期変化、バイアビリティ、サイトカイン産生に対するRF曝露の非熱的な影響を調べた[Chauhan, et al. 2007]。細胞を1.9GHzのパルス変調されたRF電磁界に5分間オン、10分間オフで間歇的に6時間曝露した。平均SARは0、1、10W/kgとした。ネガティブコントロール(インキュベータ)、ポジティブコントロール(43℃で1時間の熱ショック)を各実験に含めた。曝露直後と曝露終了から18時間後に、バイアビリティ、アポトーシス頻度、細胞周期動態変化を調べた。ヒト炎症性サイトカイン(TNFA、IL1B、IL6、IL8、IL10、IL12)は、細胞培養液の上澄み液からCBA(Cytometric Bead Array)法で測定した。ポジティブコントロール(熱ショック)ではバイアビリティの低下、アポトーシス増加、細胞周期動態の変化(G/Mブロック)に有意差を示した。これに対し、RF曝露による影響については、検査したすべての項目で、曝露にともなう変化が検出されなかった。

無線通信に使用する周波数が高くなる傾向であり、高周波数では、組織への浸透深さが小さいため、体表でのエネルギー吸収が顕著になる。Sanchezらは、ヒトの皮膚細胞に対するRF曝露のストレス応答を調べた[Sanchez, et al. 2007]。ケラチノサイトと線維芽細胞について、熱ショックタンパク(HSP70、HSC70、HSP27)を免疫組織染色法で、アポトーシスの誘導をフローサイトメトリー法で、それぞれ調べた。曝露にはREFLEXを含めて、欧州委員会による研究プログラムで広く使用されている細胞用曝露装置であるSXC1800を用いた。周波数1800MHzのGSM方式の信号(217Hzのパルス波形)で48時間曝露(SAR = 2 W/kg)した。アポトーシスおよびHSP発現のポジティブコントロールとして、600 mJ/cm²の紫外線(UVB)、および45℃で20分間の熱ショックに細胞を曝露した。結果として、ポジティブコントロールのUVBおよび熱ショック処理がそれぞれ細胞に損傷を与えた

のに対し、48 時間の RF 曝露はケラチノサイトおよび線維芽細胞のいずれにも影響しなかった。

Wang らは、HSP70 と HSP27 をストレスマーカーに用いて、2450 MHz の RF 曝露が、A172 細胞にストレス反応を引き起こすかどうか調べた[Wang, et al. 2006]。細胞は、5–200 W/kg の幅広い SAR 値で、2450 MHz の RF 電磁界に曝露または擬似曝露された。SAR が 50–200 W/kg の曝露では温度が上昇するので、相応の熱コントロール群(38–44 °C)を用意した。HSP 70 と HSP 27 の発現およびリン酸化 HSP 27 (78Ser) (p-HSP27)レベルは Western blotting 法で測定した。その結果、HSP 70 の発現は、SAR が >50 W/kg 、曝露時間 1–3 時間の場合、時間と共に、そして量反応関係をもって増加した。相応の熱コントロールでも同様の影響が見られた。HSP 27 の発現には、5–200 W/kg で 1–3 時間の RF 曝露でも、相応の加熱でも有意な変化はなかった。一方、リン酸化 HSP 27 については、100、200 W/kg の方が 40–44 °C の熱コントロールより大きく、一時的に増加した。リン酸化 HSP 27 は、100 W/kg の RF 曝露の場合、曝露後 1 時間で最大に達した。この結果は、2450 MHz の RF 曝露が、HSP70 と HSP27 発現に見るべき影響を与えないことを示しているが、リン酸化 HSP27 については、防護指針値より十分に大きな SAR (>100 W/kg)の場合には、一時的に増加を誘導するかもしれないことを示唆している。

Lee らは、PCS システム (日本の PHS に類似のシステム) の 1763MHz の CDMA 信号波形による曝露が、ヒト T リンパ球 (Jurkat 細胞) およびラットの初代星状膠細胞に対してストレス反応を及ぼすかどうかを調べた[Lee, et al. 2006]。平均 SAR は 2 W/kg または 20 W/kg とし、曝露時間は 30 分または 1 時間とした。曝露中の温度は 37 ± 0.2 °C に制御した。マイトジェン活性化プロテインキナーゼ (MAPKs)は、すべての真核細胞のストレス変換伝達経路に存在する。RF 曝露細胞での MAPKs の活性に変化はなく、熱ショックタンパク HSP90, HSP70, HSP27 の発現レベルにも検出可能な差異はみられなかった。MAPKs のリン酸化状態にも細胞外の調節酵素 ERK1/2, JNK1/2, p38 にも有意な変化はなかった。また、ホルボールエステル TPA がストレス反応に与える影響が RF 曝露によって修飾される可能性を検証するために、TPA 処理を組み合わせた RF 曝露を行なった。TPA 単独の場合、量 - 反応関係のある MAPKs のリン酸化が見られたが、RF 曝露があっても、TPA 誘導による MAPKs リン酸化の増強は見られなかった。また、TPA と RF 曝露はどちらも、HSP の誘導に検出可能な影響を及ぼさなかった。これらの結果は、1763 MHz の RF 曝露は、それだけではストレス反応を引き起こさず、また TPA 誘導による MAPKs リン酸化への修飾作用もないことを示している。

Joubert らは、RF 電磁界が神経細胞のアポトーシスに及ぼす影響を調べた[Joubert, et al. 2007]。Wistar ラット胚大脳皮質の初代培養神経細胞に、ワイヤパッチセルと呼ばれる細胞用曝露装置を用いて 900 MHz の GSM 方式の RF 電磁界を 24 時間曝露した。平均 SAR は 0.25 W/kg である。曝露直後および 24 時間後にアポトーシス率を DAPI 染色法、TUNEL

法とヨウ化プロピジウムによる二重染色法を用いたフローサイトメトリー、caspase-3 活性の蛍光測定、の 3 つの方法により評価した。対照群と RF 曝露群のアポトーシス率には、曝露直後および曝露 24 時間後とも、統計的に有意な差異は見られなかった。また、異なる 3 つの評価方法で結果は一致していた。これらの結果から、実験に用いた条件下では、RF 曝露はラット初代培養神経細胞のアポトーシス率を有意に増加させることはなかった。

4.2 動物実験

マウスを用いた動物実験に、新たな研究報告が加わった[Tillmann 2007]。この研究は、欧州委員会が組織した研究プログラム (PERFORM-A) の一貫として実施された。1170 匹の B6C3F1 マウス (腫瘍の種類が比較的多く、放射線や化学物質の発がん性試験に用いられる) を用いて、GSM 方式、および DCS (PHS に類似の欧州の方式) の通信帯域の中央周波数 902MHz(GSM)、1747 MHz (DCS) に調整された携帯電話端末から放射される RF 電磁界がマウスの発がんに与える影響を評価した。マウスは 2 年間、5 日 / 週、2 時間 / 日、全身平均 SAR レベルが 0.4、1.3、4.0 W/kg のいずれかの曝露または擬似曝露を受けた。組織のがん発生率に関しては、どのタイプのがんも、擬似曝露に比べて曝露群に発生率の有意な上昇は示さなかった(対比較フィッシャー検定)。逆に、肝細胞がんの発生率は両群で同等である一方、オスの肝細胞線腫の発生率は曝露量の増加にしたがって減少し、高度曝露群での発生率は統計的に有意に、擬似曝露群との差異があった。しかし、無処置のマウスのがん発生率のデータと比較すると、観察されたがん発生率は、病理学的コントロールデータの範囲内にあった。結論は、全身平均 SAR レベルが最大 4.0 W/kg までの GSM および DCS 無線信号に曝露した B6C3F1 マウスについては、新生物、非新生物病変の発生率、重篤度への蓄積的影響などの健康影響の証拠は得られなかった。

欧州委員会による研究プログラムの一つ、CEMFEC(Combined effects of electromagnetic fields with environmental carcinogens, 2000- 2004 年)の一環として行われた実験結果も報告された。Verschaeve らは RF 曝露と飲料水中の突然変異源とされる 3-クロロ-4-ジクロロメチル-5-ヒドロキシ-2(5H)-フラノン(MX)との複合曝露の影響を調べた [Verschaeve, et al. 2006]。各群(雌ラット 72 匹)は、900 MHz の GSM 方式 RF 電磁界に全身平均 SAR 値 0.3 または 0.9 W/kg で 2 年間 (2 時間 / 日、5 日 / 週) 曝露された。3、6、24 ヶ月目に採血を行い、脳と肝臓の組織標本を実験終了時に採取した。DNA 鎖切断は、すべての標本についてアルカリコメット法によって調べた。また赤血球での小核形成を検索した。MX の単独曝露は肝臓にも血液にも影響を示さなかったが、脳に DNA 損傷を与えた。これとは対照的に、RF 曝露および RF 曝露と MX の複合曝露では DNA 損傷の証拠は得られなかった。すなわち、RF 曝露と MX による複合曝露の影響は見られなかった。

Ferreira らは、ラットの前頭皮質、海馬における非酵素的抗酸化防御ならびに脂質・タンパク質の酸化的傷害への RF 曝露による急性影響を調べた[Ferreira, et al. 2006]。ピーク電

力 600mW で周波数 834MHz のアナログ携帯電話を波源として使用し、雄の Wister ラット（30、80、210 日齢）を曝露した。脂質・タンパク質の酸化的傷害の測定には、それぞれ、malondialdehyde (MDA)とカルボニルアッセイを用いた。その結果、実験したどの年齢のラットについても、脂質・タンパク質の傷害、および非酵素的防御に何も変化は見られなかった。

厚生労働省保健医療科学院の研究グループによる研究報告として、Jia らはウサギの耳の血流に対する影響を調べた[Jia, et al. 2007]。ウサギの耳翼に 1500MHz の RF 電磁界を、耳組織 1.0 g 当たりの局所 SAR が、0 (擬似曝露)、2.3、10.0、34.3 W/kg で 20 分曝露し、耳翼の温度変化を測定した。結果は、正常血流条件では、2.3、10.0 W/kg (現在の安全基準である、一般公衆曝露(2W/kg)、職業曝露(10W/kg)の近似値)の曝露では、ウサギの耳に顕著な温度上昇は起きなかった。正常な血流によって RF による耳翼の温度上昇は明らかに抑制され、34.3 W/kg の場合でも、温度上昇は有意に抑制された。しかし、血流なしの条件では、2.3 W/kg でも局所的皮膚温上昇が起きた。この結果は、血流を考慮に入れていない研究では、血流の生理学的効果考慮する必要があることを示した。

4.3 細胞・動物実験のまとめ

細胞実験に関しては、REFLEX 研究に関して冒頭に述べたように、一部の研究グループから微弱な曝露による影響が報告されている一方で、再現実験や類似の研究のほとんどが、影響を見いだしていない。また、REFLEX 報告書では、影響を検出したとしている一方で、細胞レベルの実験とヒトの健康とのギャップにも言及して、慎重に解釈する必要性を述べている。これまでの細胞実験から、防護指針程度以下の RF 電磁界曝露が健康に影響を及ぼすことを示す証拠は得られていない、というこれまでの状況は変わっていない。

動物実験に関しては、齧歯類を用いた発がん性の評価試験が多数行われてきた。これまでの 20 報を超える研究のうち、唯一影響を示唆した研究は Repacholi らがトランスジェニックマウス(E μ -Pim1)を用いて行ったリンパ腫に関する研究[Repacholi 1997]であり、それ以外の研究はすべて発がん性(主に促進)を否定している。今年度も新たな研究報告が加わったが、悪影響を示した研究はない。なお、これまでの研究で、曝露によって、発がんが促進されるのではなく、がんが減少する傾向を示す研究が少なくない点には、もっと注目して良いと思われる。

文献 (第4章)

- Chang SK, Choi JS, Gil HW, Yang JO, Lee EY, Jeon YS, Lee ZW, Lee M, Hong MY, Ho Son T and others. 2005. Genotoxicity evaluation of electromagnetic fields generated by 835-MHz mobile phone frequency band. *Eur J Cancer Prev* 14(2):175-9.
- Chauhan V, Mariampillai A, Kutzner BC, Wilkins RC, Ferrarotto C, Bellier PV, Marro L, Gajda GB, Lemay E, Thansandote A, McNamee JP. 2007. Evaluating the Biological Effects of

- Intermittent 1.9 GHz Pulse-Modulated Radiofrequency Fields in a Series of Human-Derived Cell Lines. *Radiat. Res.* 167(1): pp. 87–93.
- Diem E, Schwarz C, Adlkofer F, Jahn O, Rudiger H. 2005. Non-thermal DNA breakage by mobile-phone radiation (1800 MHz) in human fibroblasts and in transformed GFSHR17 rat granulosa cells in vitro. *Mutat Res* 583(2):178-83.
- Ferreira AR, Bonatto F, Pasquali AMB, Polydoro M, Dal-Pizzol F, Fernandez C, Salles AAA, Moreira JCF. 2006. Oxidative Stress Effects on the Central Nervous System of Rats After Acute Exposure to Ultra High Frequency Electromagnetic Fields. *Bioelectromagnetics* 27:487–493.
- IEGEMF. 2006. Recent Research on EMF and Health Risks. Fourth annual report from SSI's Independent Expert Group on Electromagnetic Fields. Stockholm: Statens Strålskyddsinstitut.
- Ivancsits S, Pilger A, Diem E, Jahn O, Rudiger HW. 2005. Cell type-specific genotoxic effects of intermittent extremely low-frequency electromagnetic fields. *Mutat Res* 583(2):184-8.
- Jia F, Ushiyama A, Masuda H, Lawlor GF, Ohkubo C. 2007. Role of Blood Flow on RF Exposure Induced Skin Temperature Elevations in Rabbit Ears. *Bioelectromagnetics* 28:163–172.
- Joubert V, Leveque P, Cueille M, Bourthoumieu S, Yardin C. 2007. No Apoptosis Is Induced in Rat Cortical Neurons Exposed to GSM Phone Fields. *Bioelectromagnetics* 28:115–121.
- Komatsubara Y, Hirose H, Sakurai T, Koyama S, Suzuki Y, Taki M, Miyakoshi J. 2005. Effect of high-frequency electromagnetic fields with a wide range of SARs on chromosomal aberrations in murine m5S cells. *Mutat Res* 587(1-2):114-9.
- Lee JS, Huang TQ, Kim TH, Kim JY, Kim HJ, Pack JK, Seo JS. 2006. Radiofrequency Radiation Does Not Induce Stress Response in Human T-Lymphocytes and Rat Primary Astrocytes. *Bioelectromagnetics* 27:578–588.
- REFLEX. 2004. Final report "Risk Evaluation of Potential Environmental Hazards from Low Frequency Electromagnetic Field Exposure Using Sensitive in vitro Methods. Brussels.
- Repacholi MH, Basten A, Gebiski V, Noonan D, Finnie J, Harris AW. 1997. Lymphomas in Em-Pim1 Transgenic Mice Exposed to Pulsed 900 MHz Electromagnetic Fields. *Radiat. Res.*, Vol. 147, No. 5, pp. 631-640
- Rüdiger HW, Kratochvil E, Pilger A. 2006. Reply to the letter by Vijayalaxmi et al. *Mutation Research* 603:107-109.
- Sakuma N, Komatsubara Y, Takeda H, Hirose H, Sekijima M, Nojima T, Miyakoshi J. 2006. DNA strand breaks are not induced in human cells exposed to 2.1425 GHz band CW and W-CDMA modulated radiofrequency fields allocated to mobile radio base stations. *Bioelectromagnetics* 27(1):51-7.
- Sanchez S, Haro E, Ruffié G, Veyret B, Lagroye I. 2007. In Vivo Study of the Stress Response of Human Skin Cells to GSM 1800 Mobile Phone Signals Compared to UVB Radiation and

- Heat Shock. *Radiat. Res.*167(5): pp572-580.
- Scarfi MR, Fresegna AM, Villani P, Pinto R, Marino C, Sarti M, Altavista P, Sannino A, Lovisollo GA. 2006. Exposure to radiofrequency radiation (900 MHz, GSM signal) does not affect micronucleus frequency and cell proliferation in human peripheral blood lymphocytes: an interlaboratory study. *Radiat Res* 165(6):655-63.
- Stronati L, Testa A, Moquet J, Edwards A, Cordelli E, Villani P, Marino C, Fresegna AM, Appolloni M, Lloyd D. 2006. 935 MHz cellular phone radiation. An in vitro study of genotoxicity in human lymphocytes. *Int J Radiat Biol* 82(5):339-46.
- Tillmann T, Ernst H, Ebert S, Kuster N, Behnke W, Rittinghausen S, Dasenbrock C. 2007. Carcinogenicity Study of GSM and DCS Wireless Communication Signals in B6C3F1Mice. *Bioelectromagnetics* 28:173-187.
- Verschaeve L, Heikkinen P, Verheyen G, Van Gorp U, Boonen F, Vander Plaetse F, Maes A, Kumlin T, Maki-Paakkanen J, Puranen L and others. 2006. Investigation of cogenotoxic effects of radiofrequency electromagnetic fields in vivo. *Radiat Res* 165(5):598-607.
- Vijayalaxmi, McNamee JP, Scarfi MR. 2006. Comments on: "DNA strand breaks" by Diem et al. [*Mutat. Res.* 583 (2005) 178-183] and Ivancsits et al. [*Mutat. Res.* 583 (2005) 184-188]. *Mutat Res* 603(1):104-6; author reply 107-9.
- Wang J, Koyama S, Komatsubara Y, Suzuki Y, Taki M, Miyakoshi J. 2006. Effects of a 2450 MHz High-Frequency Electromagnetic Field With a Wide Range of SARs on the Induction of Heat-Shock Proteins in A172 Cells. *Bioelectromagnetics* 27:479-486.

5. むすび

WHO による国際電磁界プロジェクトで、超低周波(ELF)電磁界の健康影響についての環境保健クライテリアがようやく刊行された[WHO 2007]。RF 電磁界についての文書が次に予定されているが、その進捗は遅れており、刊行は数年は先の見通しである。研究の進展が待たれているが、大きな変化は見られない。すなわち、疫学研究は対象者数の少ない長期利用者でのみ、若干のリスク上昇が示唆される傾向があり、情報バイアスの影響である可能性を排除できないことから、結論を明確にできない状況である。近く公表予定の IARC によるインターホン研究の最終論文が重要な判断材料になるはずである。しかし、がんの潜伏期に比べて携帯電話が日常的に利用されるようになってからの期間が十分でないため、結論を出すことは困難であると予想されている。

ボランティア研究の結果の多くも未だに曖昧である。しかし、電磁過敏症についての知見は、電磁界の曝露と直接には関係が無いという結論が強く支持されている。動物実験や細胞実験でも、健康への悪影響の証拠は見いだされていない。

総務省の生体電磁環境研究推進委員会では、1997 年から 10 年間におよぶ研究計画を実施してきた。2007 年 3 月に提出された報告書では、結論の中で、「本委員会におけるこれまで

の10年間の研究の成果では、いずれも携帯電話基地局及び携帯電話からの電波が人体に影響を及ぼさないことを示している他、過去に影響があると報告された結果について生物・医学/工学的な手法を改善した実験においては、いずれも影響がないという結果を得ている。」と述べている[総務省 2007]。これは、諸外国の現在の見解と共通している。

スウェーデン放射線防護機関 (SSI) は、電磁界の生体影響に関する研究動向のレビューを毎年刊行している。2006年のSSI報告は結論として、次のように述べている。高感受性者については、「電磁界に曝露することに特に敏感で、症状を自覚する人々については、症状が現実にも重く苦しむ人もいるが、新たに追加された研究でも、電磁界がこれらの症状の原因であることを示唆するデータはほとんどない。」としている。基地局周辺の住民の不安に対しては、「基地局周辺に居住する住民の健康リスクに関する研究がこれまでに公表されているが、方法論的な欠点がある。基地局からの電磁界による一般住民の曝露は大変弱く、健康リスクを生じるとは思われない。もしそのような低レベルのRF曝露が健康リスクに関連したとすると、携帯電話使用者や、より大きな職業的な曝露を受けるグループの研究で、簡単に影響が検出されるはずである。全体的結論は、基地局からの曝露はおそらく健康リスクではないであろう。」としている。また、携帯電話端末の使用によるがんリスクについては、「携帯電話使用者のがんリスクについて、短期の使用は、成人の脳、頭頸部のがんリスクには関連しないようである。しかし、その他のリスクは研究されておらず、また子供や思春期の使用者についても研究されておらず、また長期使用については、完全な評価は終わっていない。とくに、聴神経腫瘍については、長期使用との関連に懸念がある。」としている [IEGEMF, 2006]。

欧州委員会では、第5次および第6次枠組計画で実施した電磁界の影響に関する研究の成果を受けて、「今後の新たな健康リスクに関する科学委員会 (Scientific Committee on Emergin and Newly Identified Health Risks, SCENIHR)」において、電磁界の健康影響に関する準備意見書を公表した [EU 2006]。RF電磁界については、結論の総括として、「ICNIRPガイドライン以下の曝露レベルでは、一貫性のある健康影響は示されていない。しかし、評価のためのデータベースが、特に長期低レベルの曝露に関しては、限定されている。」と述べている。

以上のように、RF電磁界の健康影響に関しては、明確な結論がでていないものの、現在の防護指針を満たす限りにおいては、健康への悪影響を示す証拠が得られていない、という従来からの見解を修正する新たな知見はなく、影響が見いだされないという証拠に関しては、より多く蓄積されているといえることができる。

文献 (第5章)

WHO 2007. Extremely Low Frequency Fields: Environmental Health Criteria Monograph No.238

総務省 2007. 報道資料 http://www.soumu.go.jp/s-news/2007/070326_2.html

- SCIENTIFIC COMMITTEE ON EMERGING AND NEWLY IDENTIFIED HEALTH RISKS (SCENIHR) 2006. Preliminary Opinion on Possible effects of Electromagnetic Fields (EMF) on Human Health. EU 2006. http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_006.pdf
- IEGEMF. 2006 . Recent Research on EMF and Health Risks. Fourth annual report from SSI's Independent Expert Group on Electromagnetic Fields. Stockholm: Statens Strålskyddsinstitut.