

生体電磁環境に関する検討会 中間報告書（第一稿） －人体への影響関連－

目次:

はじめに	02
第 1 部 生体電磁環境に関する検討会のこれまでの活動状況	
第 2 部 電波の人体への影響について	
第 1 章 電波の人体への影響に関する研究の推進	
1. 1. 研究の動向	
1. 2. 動物実験研究の動向	
1. 3. 細胞実験研究の動向	
1. 4. ヒト研究の動向	
1. 5. 疫学研究の動向	
1. 6. ドシメトリに関する研究の動向	
1. 7. 総務省委託研究について	
第 2 章 国際的な動向	
2. 1. 国際機関の動向	
2. 1. 1. WHO の動向	
2. 1. 2. IARC の動向	
2. 1. 3. ICNIRP の動向	
2. 1. 4. その他の国際機関の動向	
2. 2. 諸外国の規制動向	
第 3 章 安全性評価に関する国際研究協力の推進	
3. 1. 国際機関との協力	
3. 2. 電磁界の健康影響に関する国際コーディネイト会合（GLORE 会合）	
第 4 章 電波防護指針の評価・検証	
4. 1. 長期的影響の可能性（熱作用・刺激作用以外の影響への懸念）についての考え方	
4. 2. 電磁過敏症についての考え方	
4. 3. 「予防原則」（Precautionary Principle）に関する考え方	
4. 4. 電波防護指針の妥当性に関する評価	
第 5 章 今後の取組について	
5. 1. 電波法令による規制についての考え方	
5. 2. リスクコミュニケーションの進め方	
5. 3. 関係者の果たすべき役割	
5. 4. 新たな ICT 機器への対応	
5. 5. 今後取り組むべき研究課題	
5. 6. その他の課題	
第 3 部 電波の医療機器等への影響について	

はじめに

TBD

第1部 生体電磁環境に関する検討会のこれまでの活動状況

TBD

第2部 電波の人体への影響について

第1章 電波の人体への影響に関する研究の推進

1.1 研究の動向 【事務局】

電波の安全性については、我が国の電波防護指針は、十分な安全率を考慮した人体防護を前提に、電波の強さが人体に好ましくない作用を及ぼさないレベルであるのかどうかの指針を示すことによって、社会・経済的に需要の高まっている電波利用の健全な発展を図ることを目的として、国内外の多くの研究成果を踏まえ、平成2年6月に策定（平成9年4月、平成23年5月一部改定）された。

これまでに我が国を含む世界各国で行われてきた研究では、この電波防護指針の基準値以下の電波ばく露による人体への好ましくない影響の証拠は見つかっていないため、WHO等では、このような基準値を満足すれば安全上の問題は無いとの認識を表明している。一方、研究の積み重ねが引き続き必要な部分もあり、健康リスクに対してより正しい判断を示すため、WHO等を中心に世界各国で研究が進められている。

本検討会では、こうした世界各国の研究の結果、動向等を踏まえて、電波防護指針の妥当性の確認や、今後の必要な研究について議論を行い、必要な施策についての提言を行ってきた。

下記にこれまでの研究の動向等について記載する。記載は、WHOの優先研究課題の分類にならない、動物実験、細胞実験、ヒト実験、疫学実験、ドシメトリのそれぞれについてまとめる。

1.2 動物実験研究の動向 【牛山主査】

平成 19 年度(2007 年)に生体電磁環境検討会が発足し現在に至っているが、この間、国際的な研究動向も、大きく進展している。非常に多くの研究論文が出版されているが、その個別の評価をおこなうことは、本検討会の目的とするところではないため、本中間報告においては平成 19 年度以降に国際機関(WHO、IARC)および各国機関から公式に発行された報告書などを参照し、電磁環境に関する動物実験の動向についてとりまとめをおこなうこととする。

1.2.1. WHO の動向

WHO においては国際電磁界プロジェクトを組織し、電磁環境の健康影響に対する国際的対応をおこなっている。その活動の中で、電磁環境が健康に及ぼすリスク評価を検討し、その評価書である環境保健基準(Environmental Health Criteria)を発刊することとなっている。低周波磁界並びに静磁界に関するリスク評価書はそれぞれ既に 2007 年(低周波)、2006 年(静磁界)に発刊された。現在、携帯電話周波数帯を含む RF 領域に対する環境保健基準の作成が進められており、2014 年中にドラフトが公開される予定である。この RF 領域の環境保健基準によるリスク評価は、今後国際非電離放射線防護委員会(ICNIRP)で議論されるガイドラインの改訂と密接な関係があるため、注視が必要である。

また、WHO 国際 EMF プロジェクトは、2010 年に”WHO Research Agenda for Radiofrequency Fields”を発行し、RF 領域の優先的研究課題を研究領域毎に挙げている。動物実験関係としては、優先すべき課題の例として、

①「発生分化と行動に対する、胎児期～授乳期における RF ばく露影響の検討」、

②「老化と脳神経変性疾患に対する、RF ばく露影響の検討」

その他推奨される課題として

③「生殖に関わる臓器への RF ばく露影響の検討」

が挙げられている。

このうち、①の「発生分化と行動に対する、胎児期～授乳期における RF ばく露影響の検討」については、胎児期から授乳期における RF ばく露が発生過程並びに行動に対する影響に対してまだ知見が少ないことからその研究の必要性が示されている。また、比較的強い比吸収率(SAR)を頭部局所にばく露した際の影響についても必要であるとしている。

また②の「老化と脳神経変性疾患に対する、RF ばく露影響の検討」については、アルツハイマー病やパーキンソン病といった神経変性疾患の発症と長期間の RF ばく露についての関連性を調べる研究が必要であるとしている。

③の「生殖に関わる臓器への RF ばく露影響の検討」としては男性の生殖能について、携帯電話端末からの RF ばく露が影響を及ぼすことが憂慮されている一方でそのばく露評価が不十分であることから、動物を用いて信頼性を担保したばく露評価のもと、雌雄それぞれの生殖能に及ぼす影響について性ホルモンの分泌などの機能の検討を含めた実験的検証が必要ではないかとしている。

1.2.2. IARC の動向

2011年にIARCはRF電磁界の評価のためのタスクワーキンググループ会議を開催し、「無線周波電磁界がヒトに対して発がん性があるかもしれない(グループ2B)」と判定した。2013年にはこの判定に基づいたIARCモノグラフが発刊された。

このモノグラフ内の動物実験のセクションの要約を以下に示す。

2年間にわたる携帯電話を模擬した電波ばく露による発がん性試験については5つの論文(マウス1論文、ラット4論文)が最終的に検討された。携帯電話電波を模擬した論文については発がん性が認められず、総合的に2年間の長期ばく露の実験としては発がん性を示す証拠はないと判定した。

がんを発症しやすい動物モデルを用いた研究については12論文を精査した。このうちいくつかは同じ実験モデルを使用したものであり、陽性結果の再現実験を試みたものであるが、失敗している。総合的に考えると、これらの動物モデルによってRFばく露ががんの発生を促進するということをサポートする結果はみられないと判定した。

さらに、がんのイニシエーション・プロモーションに関しては16の研究について検討した。その結果、RFばく露がこれらを促進するという一貫した結論は導かれなかったと判定した。

また、ワーキンググループは*co-carcinogenesis*(発がん補助)に関する6つの研究を精査した。このうちの4つの論文で陽性の反応が見られていた。このうちラットに変異原物質である3-chloro-4-(dichloromethyl)-5-hydroxy-2(5H)-furanone(MX)を含んだ水を与えた研究(1)、および妊娠マウスに*N-ethyl-N-nitrosourea*(ENU)を投与した実験(2)については、いずれもシヤムばく露群に比べばく露群でがんが多くみられる結果であった。また4つのうち2つの論文(3, 4)は、マウスに*benzo[a]pyrene*を投与した実験の結果である。これら2つの結果はヒトのがんとの関連性が弱いとはいえ、ワーキンググループはそれらの結果をRFばく露による発がんを支持する限定的な証拠として採用した。

1.2.3. 各国政府機関からの発表

過去数年間の間に各国政府機関からRF電磁界と生体影響・健康影響についてレビューや勧告文書が発表されている。それらの中で動物実験に対してのレビューがされている報告書を挙げると以下のとおりである。

- ・ 英国健康保護庁(HPA) Report of the independent advisory group on non-ionizing radiation (AGNIR[※]) 2012年発行(※ HPAとは独立した専門家集団によるレポートであるが、HPAはこの報告書を支持する声明を出している)
- ・ ノルウェー公衆衛生研究所 Norwegian report on weak high-frequency electromagnetic fields –an evaluation of health risks and regulatory practice. 2012年発行(英語版は要約のみ)

- ・ スウェーデン放射線安全庁(SSM)

8th report from SSM:s Scientific Council on Electromagnetic Fields 2013 年発行

9th report from SSM:s Scientific Council on Electromagnetic Fields 2014 年

- ・ オーストラリア放射線防護原子力安全庁(ARPANSA)

Review of Radiofrequency Health Effects Research - Scientific Literature 2000-2012(無線周波の健康影響研究のレビュー -科学文献 2000-2012) 2014 年発行

このうち、ノルウェーの報告書は英語で書かれた文書が発刊されていないため、またオーストラリア ARPANSA の報告は基本的に英国 HPA 報告の内容を追認するものであるため、本中間報告書では除外し、それ以外の報告書について記載の内容を以下にまとめる。

(1)英国健康保護庁(HPA) Report of the independent advisory group on non-ionizing radiation (AGNIR)

本報告書は、2012 年 4 月に無線周波電磁界からの健康影響についての非電離放射線に関する独立専門家グループ(AGNIR)から発表された報告書であり、英国健康保護庁(HPA)もこの内容について全面的に支持を表明しているものである。

AGNIR は 2003 年に前回レポートをまとめているため、本報告書ではそれ以降の論文をレビューしている。したがって 2007 年の生体電磁環境検討会の発足以前の研究も数多く取り上げられているが、本中間報告書としては、これらを除外せずに AGNIR の報告書に取り挙げられている動物実験研究の内容を紹介する。

AGNIR 報告においては、ヒトへの外挿をすることを考慮し非哺乳類の実験は除外して主としてマウスとラットの動物実験を中心にまとめられている。すべての論文は、詳細に精査をおこない、具体的には適切な研究デザインたとえば、適切なばく露コイルやばく露チャンバーを用いているか、動物の愛護福祉に考慮した実験となっているか、ばく露の評価(ドシメトリ)やばく露条件は適切か等について評価した。また統計方法を採用し、交絡因子を最小限にしているかについて注意深く検討をおこなった。これらの検討の結果、研究によっては、脆弱な研究手法によりおこなわれたものも多いと結論している。脆弱な研究手法とは、たとえば、携帯電話を動物に近づけただけの実験や、ばく露の評価が十分でないものなどである。

また、強い電波ばく露をおこなえば、エネルギーが熱に変換され熱影響が見られるようになる。この現象は、電波強度ばかりではなくその時間や動物種、ばく露される環境によっても異なる。たとえば、同じマウスでも体の大きさや系統によっても熱影響が異なることが知られており、これらについても注意が必要であるとしている。

AGNIR 報告においては、以下の影響の種類に分けて評価した論文を紹介している。

1) 脳と神経組織への影響 (59 論文) ※さらに 5 つの小項目

2) 行動 (20 論文) ※さらに 2 つの小項目

- 3) 内分泌 (8 論文)
- 4) 聴覚機能 (11 論文)
- 5) がん関連 (38 論文) ※さらに 5 つの小項目
- 6) 免疫系および造血系 (8 論文)
- 7) 生殖および発生 (32 論文) ※さらに 2 つの小項目

全部で延べ 176 論文が対象となっている。以下に簡単にそれぞれの項目をまとめる。

1) 脳と神経組織への影響

1-1) 脳と神経組織における細胞生理的(病的)影響

全部で 38 論文が対象となり、研究のアウトプットとしては脳における熱ショック蛋白質等のストレス関連各遺伝子の発現、神経細胞のアポトーシス、グリア細胞線維性酸性タンパク質 (GFAP) の発現、酸化ストレスマーカーへの影響などとなっている。38 論文のうち、何らかの影響を示唆した論文が 21 論文、影響を認めないものが 38 論文とされた。しかしながら、陽性論文の中には、たとえば、脳波を取るために金属電極を脳に埋め込んで実験をしていたり(5)、GFAP の発現には影響が見られたが、行動観察では影響がないという結果であったり (6)や、GFAP の増加は一過性でばく露の3日後には変化が観察されない(7)、あるいは携帯電話端末を動物から1cmにおいた実験(8)などの論文も含まれている。

なお、重要と思われるのは、スウェーデンの Salford らが 2003 年に発表した研究(9)のレプリケーション(再現実験)が複数おこなわれ、彼らが結論した弱い電波ばく露によるダークニューロンとアポトーシス細胞の増加が再現実験ではいずれも再現できず陰性の結果として報告された点である(10, 11)。(この項目に分類されていないが、米国の McQuade らの論文(12)も再現実験であり結果は陰性であった。)

1-2) 神経伝達物質

2論文が検討されて、陽性、陰性の結果が各1論文であった。

脳局所ばく露で6W/kgをばく露した論文においては、NMDA 受容体をはじめとする神経伝達に関係する分子の発現などに影響が見られたが、行動には影響がなかったという報告がある(6)。

1-3) 脳電位への影響

5論文が検討されて、陽性3論文、陰性が2論文であった。陽性論文のうち2つは脳波取得のため脳に電極を刺しており、これにより電波ばく露によるピーク SAR は計算値よりも高くなるという AGNIR からのコメントが付されている。また、別の陽性論文(13)ではけいれん誘発モデルマウスで電波ばく露がその頻度を増加させる結果であるが、観察手法に問題がある可能性が指摘されている。

1-4) 血液脳関門および微小循環

12 論文が引用され、そのうち陽性が4論文、陰性が8論文であった。陽性の論文におい

ては、オスラットのみにはアルブミンの漏洩が見られメスでは見られないという説明しがたい結果(14)や、量反応関係が反転している結果(15)などが問題点として指摘されている。

1-5) 自律神経機能

心拍や血圧に及ぼす影響が調べられた論文を2つ紹介しているが、いずれも陰性の結果である。このうちの一つは35GHz、94GHzを使用した実験であり、もう一つは動物を保定し測定をおこなっているため、いずれも特殊条件であるためこの領域の研究がさらに必要と考えられる。

以上脳神経系をまとめると、何らかの影響(たとえば、GFAP・炎症性反応・ストレス保護因子の増加)が、動物が熱作用により暖まる可能性のある条件(SAR1.5~6W/kg)で起こる可能性が認められる。しかしながらガイドライン以下ではそのようなことが起こるといことは考えにくい。また血液脳関門についての最近の研究はおおむね陰性である。自律神経機能については、まだまだ情報が不足している状況である。

2) 行動

2-1) 空間記憶タスク試験

電波をばく露した動物を、放射型迷路やモリス水迷路試験により、動物の空間記憶能を調べた結果が報告されている。この研究手法では11論文があげられており、そのうち7論文が陽性、4論文が陰性の結果を示している。陰性の結果のうち2つ(16, 17)は以前の陽性結果(18)のレプリケーション(再現)実験であり、いずれも先行研究の結果を否定する結果となっているが、研究デザインが十分に確立された実験であるため信頼性は高い。一方、陽性の結果のうちいくつかはばく露に携帯電話本体を使っており、その点でもAGNIRは問題を指摘している。

また、全体をみても、証拠の強さは非常に限定されており、小児への影響を見るために、幼若動物などの実験も不足しているとAGNIRは指摘している。

2-2) その他の一般学習タスク

2-1で取り上げた以外のその他の学習タスクについては9論文が紹介されている。このうち、4論文は陽性、5論文が陰性結果である。しかしながら、陽性論文においてはドシメトリの記述が乏しい論文(19, 20)や、ばく露の際に携帯電話を竹でできたケージの中に置くことでばく露をおこなっている論文(21)がありAGNIRはこれらの問題を指摘している。

3) 内分泌

8論文のうち、陽性が3論文、陰性が5論文であった。陽性論文の一つは900MHz、2W/kgで動物を固定して1日30分、4週間のばく露を行った際に、の甲状腺ホルモン(TSH、T3、T4)がばく露群で有意に減少していることを報告しているが、論文の筆者らは温度影響の可能性も指摘している(22)。

4) 聴覚機能

携帯電話は耳に接触させて使用するため、聴覚への影響については非常に強い関心を持たれていた。聴覚機能影響を調べた 11 論文のうち、4論文が陽性で、7 論文が陰性であった。いくつかの論文はウサギを実験対象に用いている。これらの論文全ては聴覚機能を DPOAE(耳音響放射検査)法により評価したものである。DPOAE 法は内耳から発生する音響放射(OAE)を測定する方法で、客観的に内耳機能を評価することが可能である。陽性となった論文は全てウサギを用いた論文であるが、SAR についての記載もないことから、AGNIR はこれらの結果は組織加温の影響による可能性を指摘している。

5) がん関連研究

5-1) 遺伝毒性と変異

2003 年に出版した AGNIR の前回の報告書において、遺伝毒性と変異についてはこれまで一部に DNA 鎖切断が報告されてきたが、その結果は一致性が見られず、(仮に陽性であっても)DNA 安定性には大きな影響は持たないであろうと結論してきた。それでもなお、この数年研究が続き、今回の AGNIR 報告書まで多くの論文が発表されてきた。これらを明らかにするために使用されている方法は、コメットアッセイ、小核試験などである。近年の研究では多くは体細胞を使用しているが、一部では生殖細胞を用いた研究も見られる。

今回の AGNIR 報告では 18 論文が対象となり、8 論文が陽性、10 論文が陰性であった。陽性のうち、Vijayalaxmi の研究(23)では、42.2GHz のミリ波を使用しており温度上昇が懸念される。また、Kumer の研究(24)でも 10GHz を使用した実験で赤血球微小核の増加が見られている。しかしながら、携帯電話周波数帯の実験で、よく制御された実験系においては過去の陽性結果の再現研究におおむね失敗して陰性の結果となっている。

5-2) がん発生(通常系統動物)への影響

AGNIR の 2003 年の報告では、それまでの研究報告を鑑み、がん原性を持たないであろうという結論であった。その後の研究で今回の報告では 5 論文が対象となり、1 論文が陽性、4 論文が陰性であった。

このうち、アメリカのナショナルトキシコロジープログラム下でおこなった実験条件が非常によく制御された Smith らの論文(25)では、最大 4W/kg のばく露 1 日 2 時間、2 年間のばく露を行った結果を示しているが、陰性であった。また、陽性であった 1 論文(26)は、2 年までの観察期間では有意差は認めないが、2 年以上で有意な差が見られたという結果であった。

5-3) がん発生(がん多発動物)への影響

もともと、がんの多発がみられる動物(AKR/J マウス等)、あるいは遺伝子組換えでがんが多発する動物(Pim1 マウス等)を用いた実験の 5 論文のうち、陽性が 1 論文、陰性が 4 論文である。陽性のうち、Anghileri らの研究(27)では、OF-1 マウスのリンフォーマが増加しているが、ドシメトリなどの実験デザインの問題点について AGNIR が指摘している。

5-4) 発がん補助への影響

N-ethylnitrosourea(ENU)投与による発がんのRF-EMFの補助作用について検討された3論文はいずれも陰性であった。このうち、日本の Shirai らによっておこなわれた研究(28, 29)は、製薬の動物実験で必須なGLP基準(Good Laboratory Practice Standards)に則って行われており、実験環境の信頼性が担保されたものである。

5-5) 移植がんへの影響

主として、臨床的ながん治療への基礎として、GHz帯を使用した研究が3論文あり、いずれも陽性である。しかしながらこれらは、加温効果による熱影響を基礎としているものであり非熱作用ではない。

6) 免疫系および造血系

免疫系・造血系に関しては生体におけるその重要性に比して動物を用いた研究が非常に少なく、4論文のみである。このうち、4論文が陽性、4論文が陰性であった。免疫系に関しては、特に、1970年代におこなわれ旧ソビエト連邦の、一部の国のガイドラインにも影響を与えている実験のレプリケーション(再現)実験がフランスで行われ、陰性が証明された点は重要である。旧ソビエト連邦の研究は、ばく露した動物から取った血清を別の妊娠動物に注射するとその胎児に影響がでるという報告であったが、今回の再現研究ではそのような影響は見られなかった(30)。

造血系に関しては、ラットのRF-EMFばく露で一過性に影響が見られるという報告がある(31)が、それはばく露時の拘束によるストレス反応の可能性を排除できない。総合的に考えると、免疫造血系に対しては、影響がないものと考えられる。

7) 生殖と胎児発生

7-1) 精巣機能(13論文)

精巣機能については13論文があり、陽性8論文、陰性5論文である。陽性論文の中には、精子数の減少など非常に影響が大きい論文が見られるが、例えば、Salamaらによる一連の論文(32-34)は携帯端末を固定した動物に近づけた実験デザインであり、適切な実験デザインとは言い難いものである。また、このうち1つの論文(33)については、データの信頼性など複数の理由により論文著者により取り下げがおこなわれている。また、その他にも研究デザインが不十分なものも含まれている。一方で、よくデザインされた848MHzのCDMA波を使った実験(35)においては結果は陰性であった。また、陽性の中には陽性の中に3論文含まれており、その研究結果についてはさらなる検討が必要である。

7-2) 妊娠および胎児の発生

妊娠および胎児の発生に関する論文は19論文あり、そのうち陽性9論文、陰性10論文であった。しかしながら、AGINIRが精査し、非常に洗練されたデザインによる研究6論文に絞ると、いかなる催奇形などの影響も見られていない(36-41)。その他の研究では、様々なアウトカム指標や実験デザインの不備などのため明確な結論を導くことができず、電波の影響として明らかな証拠となるものとは言えない状況である。

(2) スウェーデン放射線安全庁(SSM)

8th report from SSM:s Scientific Council on Electromagnetic Fields 2013 年発行

9th report from SSM:s Scientific Council on Electromagnetic Fields 2014 年

スウェーデン放射線安全庁のまとめたこれらのレポートは、周波数毎(定常磁界、超低周波磁界、中間周波、高周波磁界)にそれぞれ細胞実験、動物実験、ヒト対象研究、疫学研究の現在の状況をまとめたものとなっている。また、それとは別に、自己申告の電磁過敏症およびその症状についても独立した章を設けている。以下ではこのうちの高周波領域における動物実験についてまとめるものである。

なお、8th レポートは主として 2011 年～2012 年に発表された論文を、9th レポートはその後 2013 年 9 月までに発表された論文をレビューしたものである。前項にまとめた英国 HPA (AGNIR) レポートとは、8th レポートの RF 領域の動物実験 50 論文のうち 18 論文が重複しているが、それ以外の 32 論文および、9th レポートの 18 論文は重複していない。

8th レポートの動物研究においては、以下のように指標毎に分類している。

1. 脳機能と行動(6 論文)
2. 脳内化学物質挙動と生理反応(9 論文)
3. 脳内酸化ストレス(7 論文)
4. 脳以外の酸化ストレス(5 論文)
5. 遺伝毒性とがん(8 論文)
6. 生殖、発生(10 論文)
7. 聴覚系(2 論文)
8. 免疫・循環器系(6 論文)

結論としては以下のとおりである。

動物研究において、脳機能が RF-EMF ばく露によって影響を受ける可能性および脳を含めて様々な組織において RF-EMF ばく露によって酸化ストレスが惹起される可能性があるとした。しかしながら脳機能について、ヒトへ外挿するには、そのばく露様式が異なる(動物では脳全体であるのに対してヒトでは脳の局所的)こと等から引き続き議論が必要ではないかと指摘している。また酸化ストレスに関しては様々な健康影響を引き起こす可能性があるが、現時点ではそのような研究は示されていない。遺伝毒性についてはいくつかの陽性・陰性結果が混在しているが陽性結果の再現性確認がされておらず、またがんについてはリスクの増加がみられていない。また、生殖について十分なクオリティをもった研究では結果はネガティブであり、免疫機能に関しても影響は見られない。

さらにレポートは、「多くの動物実験が行われているが、そのデザインが不適切な研究が多く、特に電波ばく露に関する情報が欠如している点が問題である。適切なデザイン

の研究および十分な情報を与えられた動物実験こそが、健康リスク分析に結びつく」と、主張している。

また 9th レポートにおいては、8th レポートの流れを踏襲する一方で以下のような論文分類を行っている。

1. 脳機能と行動(5 論文)
2. 遺伝毒性(1 論文)
3. 生理機能(2 論文)
4. 生殖および幼若動物への栄光影響(2 論文)
5. ばく露条件および関連情報の記載が不十分(8 論文)

特徴的なのは5の項目で、専門的な視線で見た場合にばく露条件などの記載が不適切と判断した論文を集約したことである。

9th レポートにおいて、高周波・動物実験の結論としては以下のように述べている。

RF 領域の動物実験の多くは、明確な作業仮説および適切な研究デザインに基づいたものとは言えず、特にばく露装置およびドシメトリに記載が足りない物が多い。しかしながら総合して考えると、もし何らかの国際基準において実験動物の結果を考慮する必要があるのならこれらについて確認をするべきである。総合して、実験動物に関しては、酸化ストレスと行動や情緒といった脳機能に弱いながらも何らかの影響を与える可能性が示されている。遺伝毒性、ホルモン、グルコース、男性不妊、生殖は主として単一の研究による物であり再現性試験が必要である。

1. Heikkinen P, Ernst H, Huuskonen H, Komulainen H, Kumlin T, Maki-Paakkanen J, et al. No effects of radiofrequency radiation on 3-chloro-4-(dichloromethyl)-5-hydroxy-2(5H)-furanone-induced tumorigenesis in female Wistar rats. *Radiation research*. 2006 Aug;166(2):397-408. PubMed PMID: 16881741.
2. Tillmann T, Ernst H, Streckert J, Zhou Y, Taugner F, Hansen V, et al. Indication of cocarcinogenic potential of chronic UMTS-modulated radiofrequency exposure in an ethylnitrosourea mouse model. *International journal of radiation biology*. 2010 Jul;86(7):529-41. PubMed PMID: 20545575.
3. Szmigielski S, Szudzinski A, Pietraszek A, Bielec M, Janiak M, Wrembel JK. Accelerated development of spontaneous and benzopyrene-induced skin cancer in mice exposed to 2450-MHz microwave radiation. *Bioelectromagnetics*. 1982;3(2):179-91. PubMed PMID: 7126270.
4. Szudzinski A, Pietraszek A, Janiak M, Wrembel J, Kalczak M, Szmigielski S. Acceleration

- of the development of benzopyrene-induced skin cancer in mice by microwave radiation. *Archives of dermatological research*. 1982;274(3-4):303-12. PubMed PMID: 6299207.
5. Lopez-Martin E, Relova-Quinteiro JL, Gallego-Gomez R, Peleteiro-Fernandez M, Jorge-Barreiro FJ, Ares-Pena FJ. GSM radiation triggers seizures and increases cerebral c-Fos positivity in rats pretreated with subconvulsive doses of picrotoxin. *Neuroscience letters*. 2006 May 1;398(1-2):139-44. PubMed PMID: 16448750.
 6. Mausset-Bonnefont AL, Hirbec H, Bonnefont X, Privat A, Vignon J, de Seze R. Acute exposure to GSM 900-MHz electromagnetic fields induces glial reactivity and biochemical modifications in the rat brain. *Neurobiology of disease*. 2004 Dec;17(3):445-54. PubMed PMID: 15571980.
 7. Brillaud E, Piotrowski A, de Seze R. Effect of an acute 900MHz GSM exposure on glia in the rat brain: a time-dependent study. *Toxicology*. 2007 Aug 16;238(1):23-33. PubMed PMID: 17624651.
 8. Yan JG, Agresti M, Zhang LL, Yan Y, Matloub HS. Upregulation of specific mRNA levels in rat brain after cell phone exposure. *Electromagnetic biology and medicine*. 2008;27(2):147-54. PubMed PMID: 18568932.
 9. Salford LG, Brun AE, Eberhardt JL, Malmgren L, Persson BR. Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones. *Environmental health perspectives*. 2003 Jun;111(7):881-3; discussion A408. PubMed PMID: 12782486. Pubmed Central PMCID: 1241519.
 10. Masuda H, Ushiyama A, Takahashi M, Wang J, Fujiwara O, Hikage T, et al. Effects of 915 MHz electromagnetic-field radiation in TEM cell on the blood-brain barrier and neurons in the rat brain. *Radiation research*. 2009 Jul;172(1):66-73. PubMed PMID: 19580508.
 11. Poullietier de Gannes F, Haro E, Hurtier A, Taxile M, Ruffie G, Billaudel B, et al. Effect of exposure to the edge signal on oxidative stress in brain cell models. *Radiation research*. 2011 Feb;175(2):225-30. PubMed PMID: 21268716.
 12. McQuade JM, Merritt JH, Miller SA, Scholin T, Cook MC, Salazar A, et al. Radiofrequency-radiation exposure does not induce detectable leakage of albumin across the blood-brain barrier. *Radiation research*. 2009 May;171(5):615-21. PubMed PMID: 19580497.
 13. Erdinc OO, Baykul MC, Ozdemir O, Ozkan S, Sirmagul B, Oner SD, et al. Electromagnetic waves of 900 MHz in acute pentylenetetrazole model in ontogenesis in mice. *Neurological sciences : official journal of the Italian Neurological Society and of the Italian Society of Clinical Neurophysiology*. 2003 Oct;24(3):111-6. PubMed PMID: 14600821.
 14. Sirav B, Seyhan N. Blood-brain barrier disruption by continuous-wave radio frequency

- radiation. *Electromagnetic biology and medicine*. 2009;28(2):215–22. PubMed PMID: 19811403.
15. Eberhardt JL, Persson BR, Brun AE, Salford LG, Malmgren LO. Blood–brain barrier permeability and nerve cell damage in rat brain 14 and 28 days after exposure to microwaves from GSM mobile phones. *Electromagnetic biology and medicine*. 2008;27(3):215–29. PubMed PMID: 18821198.
 16. Cobb BL, Jauchem JR, Adair ER. Radial arm maze performance of rats following repeated low level microwave radiation exposure. *Bioelectromagnetics*. 2004 Jan;25(1):49–57. PubMed PMID: 14696053.
 17. Cassel JC, Cosquer B, Galani R, Kuster N. Whole–body exposure to 2.45 GHz electromagnetic fields does not alter radial–maze performance in rats. *Behavioural brain research*. 2004 Nov 5;155(1):37–43. PubMed PMID: 15325777.
 18. Lai H, Horita A, Guy AW. Microwave irradiation affects radial–arm maze performance in the rat. *Bioelectromagnetics*. 1994;15(2):95–104. PubMed PMID: 8024608.
 19. Daniels WM, Pitout IL, Afullo TJ, Mabandla MV. The effect of electromagnetic radiation in the mobile phone range on the behaviour of the rat. *Metabolic brain disease*. 2009 Dec;24(4):629–41. PubMed PMID: 19823925.
 20. Kumar RS, Sareesh NN, Nayak S, Mailankot M. Hypoactivity of Wistar rats exposed to mobile phone on elevated plus maze. *Indian journal of physiology and pharmacology*. 2009 Jul–Sep;53(3):283–6. PubMed PMID: 20329378.
 21. Narayanan SN, Kumar RS, Potu BK, Nayak S, Bhat PG, Mailankot M. Effect of radio–frequency electromagnetic radiations (RF–EMR) on passive avoidance behaviour and hippocampal morphology in Wistar rats. *Upsala journal of medical sciences*. 2010 May;115(2):91–6. PubMed PMID: 20095879. Pubmed Central PMCID: 2853785.
 22. Koyu A, Cesur G, Ozguner F, Akdogan M, Mollaoglu H, Ozen S. Effects of 900 MHz electromagnetic field on TSH and thyroid hormones in rats. *Toxicology letters*. 2005 Jul 4;157(3):257–62. PubMed PMID: 15917150.
 23. Vijayalaxmi, Logani MK, Bhanushali A, Ziskin MC, Prihoda TJ. Micronuclei in peripheral blood and bone marrow cells of mice exposed to 42 GHz electromagnetic millimeter waves. *Radiation research*. 2004 Mar;161(3):341–5. PubMed PMID: 14982479.
 24. Kumar S, Kesari KK, Behari J. Evaluation of genotoxic effects in male Wistar rats following microwave exposure. *Indian journal of experimental biology*. 2010 Jun;48(6):586–92. PubMed PMID: 20882761.
 25. Smith P, Kuster N, Ebert S, Chevalier HJ. GSM and DCS wireless communication signals: combined chronic toxicity/carcinogenicity study in the Wistar rat. *Radiation research*.

- 2007 Oct;168(4):480–92. PubMed PMID: 17903030.
26. Bartsch H, Kupper H, Scheurlen U, Deerberg F, Seebald E, Dietz K, et al. Effect of chronic exposure to a GSM-like signal (mobile phone) on survival of female Sprague–Dawley rats: modulatory effects by month of birth and possibly stage of the solar cycle. *Neuro endocrinology letters*. 2010;31(4):457–73. PubMed PMID: 20802457.
 27. Anghileri LJ, Mayayo E, Domingo JL, Thouvenot P. Radiofrequency–induced carcinogenesis: cellular calcium homeostasis changes as a triggering factor. *International journal of radiation biology*. 2005 Mar;81(3):205–9. PubMed PMID: 16019929.
 28. Shirai T, Kawabe M, Ichihara T, Fujiwara O, Taki M, Watanabe S, et al. Chronic exposure to a 1.439 GHz electromagnetic field used for cellular phones does not promote N–ethylnitrosourea induced central nervous system tumors in F344 rats. *Bioelectromagnetics*. 2005 Jan;26(1):59–68. PubMed PMID: 15605402.
 29. Shirai T, Ichihara T, Wake K, Watanabe S, Yamanaka Y, Kawabe M, et al. Lack of promoting effects of chronic exposure to 1.95–GHz W–CDMA signals for IMT–2000 cellular system on development of N–ethylnitrosourea–induced central nervous system tumors in F344 rats. *Bioelectromagnetics*. 2007 Oct;28(7):562–72. PubMed PMID: 17516507.
 30. Prisco MG, Nasta F, Rosado MM, Lovisolo GA, Marino C, Pioli C. Effects of GSM–modulated radiofrequency electromagnetic fields on mouse bone marrow cells. *Radiation research*. 2008 Dec;170(6):803–10. PubMed PMID: 19138032.
 31. Trosic I, Busljeta I, Pavicic I. Blood–forming system in rats after whole–body microwave exposure; reference to the lymphocytes. *Toxicology letters*. 2004 Dec 1;154(1–2):125–32. PubMed PMID: 15475186.
 32. Salama N, Kishimoto T, Kanayama HO, Kagawa S. The mobile phone decreases fructose but not citrate in rabbit semen: a longitudinal study. *Systems biology in reproductive medicine*. 2009 Dec;55(5–6):181–7. PubMed PMID: 19938952.
 33. Salama N, Kishimoto T, Kanayama HO. Effects of exposure to a mobile phone on testicular function and structure in adult rabbit. *International journal of andrology*. 2010 Feb;33(1):88–94. PubMed PMID: 19076254.
 34. Salama N, Kishimoto T, Kanayama HO, Kagawa S. Effects of exposure to a mobile phone on sexual behavior in adult male rabbit: an observational study. *International journal of impotence research*. 2010 Mar–Apr;22(2):127–33. PubMed PMID: 19940851.
 35. Lee HJ, Pack JK, Kim TH, Kim N, Choi SY, Lee JS, et al. The lack of histological changes of CDMA cellular phone–based radio frequency on rat testis. *Bioelectromagnetics*. 2010 Oct;31(7):528–34. PubMed PMID: 20607737.

36. Lee HJ, Lee JS, Pack JK, Choi HD, Kim N, Kim SH, et al. Lack of teratogenicity after combined exposure of pregnant mice to CDMA and WCDMA radiofrequency electromagnetic fields. *Radiation research*. 2009 Nov;172(5):648–52. PubMed PMID: 19883234.
37. Jin YB, Lee HJ, Seon Lee J, Pack JK, Kim N, Lee YS. One-year, simultaneous combined exposure of CDMA and WCDMA radiofrequency electromagnetic fields to rats. *International journal of radiation biology*. 2011 Apr;87(4):416–23. PubMed PMID: 21171939.
38. Ogawa K, Nabae K, Wang J, Wake K, Watanabe S, Kawabe M, et al. Effects of gestational exposure to 1.95-GHz W-CDMA signals for IMT-2000 cellular phones: Lack of embryotoxicity and teratogenicity in rats. *Bioelectromagnetics*. 2009 Apr;30(3):205–12. PubMed PMID: 19194858.
39. Sommer AM, Grote K, Reinhardt T, Streckert J, Hansen V, Lerchl A. Effects of radiofrequency electromagnetic fields (UMTS) on reproduction and development of mice: a multi-generation study. *Radiation research*. 2009 Jan;171(1):89–95. PubMed PMID: 19138054.
40. Takahashi S, Imai N, Nabae K, Wake K, Kawai H, Wang J, et al. Lack of adverse effects of whole-body exposure to a mobile telecommunication electromagnetic field on the rat fetus. *Radiation research*. 2010 Mar;173(3):362–72. PubMed PMID: 20199221.
41. Sambucci M, Laudisi F, Nasta F, Pinto R, Lodato R, Altavista P, et al. Prenatal exposure to non-ionizing radiation: effects of WiFi signals on pregnancy outcome, peripheral B-cell compartment and antibody production. *Radiation research*. 2010 Dec;174(6):732–40. PubMed PMID: 21128797.

1.3. 細胞実験研究の動向 【宮越構成員】

1.3.1. これまでに我が国から発表された細胞研究論文のまとめ

我が国から電波の生体影響に関して、細胞研究の論文発表が行われている。代表例として、IARC発がん性評価会議(モノグラフ no.102)で引用された論文を以下に記載する。なお、論文の末尾に星印(*)が入ったものは、総務省・生体電磁環境研究推進委員会からの研究成果である。

1. Fu-Rong Tian, Takehisa Nakahara, Kanako Wake, Masao Taki and Junji Miyakoshi: Exposure to 2.45GHz electromagnetic fields induces hsp70 at a high SAR of more than 20 W/kg, but not at a lower SAR of 5W/kg, in human glioma MO54 cells. *International Journal of Radiation Biology*, 78, 433-440 (2002) *
2. Junji Miyakoshi, Masami Yoshida, Yoshiaki Tarusawa, Toshio Nojima, Kanako Wake and Masao Taki: Effects of High-Frequency Electromagnetic Fields on DNA Strand Breaks Using Comet Assay Method. *Electrical Engineering in Japan*, 141, 9-15 (2002)
3. Junji Miyakoshi, Masami Yoshida, Yoshiaki Tarusawa, Toshio Nojima, Kanako Wake and Masao Taki: Effects of High-Frequency Electromagnetic Fields on DNA Strand Breaks Using Comet Assay Method. *Electrical Engineering in Japan*, 141, 9-15 (2002)*
4. Shin Koyama, Takehisa Nakahara, Kanako Wake, Masao Taki, Yasuhito Isozumi and Junji Miyakoshi: Effects of High Frequency Electromagnetic Fields on Micronucleus Formation in CHO-K1 Cells. *Mutation Research*, 541, 81-89 (2003)*
5. Shin Koyama, Yasuhito Isozumi, Yukihisa Suzuki, Masao Taki and Junji Miyakoshi: Effects of 2.45 GHz electromagnetic fields with a wide range of SARs on micronucleus formation in CHO-K1 cells. *The Scientific World Journal*, 4, 229-40 (2004)*
6. Yoshiki Komatsubara, Hideki Hirose, Tomonori Sakurai, Shin Koyama, Yukihisa Suzuki, Masao Taki, Junji Miyakoshi: Effect of high-frequency electromagnetic fields with a wide range of SARs on chromosomal aberrations in murine m5S cells. *Mutation Research*, 587, 114-119 (2005)*
7. Hideki Hirose, N. Sakuma, N. Kaji, T. Suhara, Masaru Sekijima, Toshio Nojima and Junji Miyakoshi: Phosphorylation and gene expression of p53 are not affected in human cells exposed to 2.1425 GHz band CW or W-CDMA modulated radiation allocated to mobile radio base stations. *Bioelectromagnetics*, 27, 494-504 (2006)
8. Jin Wang, Shin Koyama, Yoshiki Komatsubara, Yukihisa Suzuki, Masao Taki and Junji Miyakoshi: Effect 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 (2006) *
9. N. Sakuma, Yoshiki Komatsubara, Hiroshi Takeda, Hideki Hirose, Masaru Sekijima, Toshio

- Nojima and Junji Miyakoshi: 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 , 51-57 (2006)
10. Shin Koyama, Yoshio Takashima, Tomonori Sakurai, Yukihisa Suzuki, Masao Taki and Junji Miyakoshi: Effects of 2.45 GHz Electromagnetic Fields with a Wide Range of SARs on Bacterial and HPRT Gene Mutations. *Journal of Radiation Research*, 48, 69-75 (2007)*
 11. Shin Koyama, Yoshio Takashima, Tomonori Sakurai, Yukihisa Suzuki, Masao Taki, Junji Miyakoshi: Effects of 2.45 GHz electromagnetic fields with a wide range of SARs on bacterial and HPRT gene mutations. *Journal of Radiation Research*, 48, 69-75 (2007)*
 12. Masaru Sekijima, Hiroshi Takeda, Katsuaki Yasunaga, Sakuma N, Hideki Hirose, Toshio Nojima, Junji Miyakoshi: 2-GHz band CW and W-CDMA modulated radiofrequency fields have no significant effect on cell proliferation and gene expression profile in human cells. *J Radiat Res (Tokyo)*. 2010; 51(3):277-84. Epub 2010 Mar 9.
 13. Tomonori Sakurai, Tomoko Kiyokawa, Eijirou Narita, Yukihisa Suzuki, Masao Taki and Junji Miyakoshi: Analysis of gene expression in a human-derived glial cell line exposed to 2.45 GHz continuous radiofrequency electromagnetic fields. *Journal of Radiation Research*, (Tokyo) 52:185-192 2011.*

以上のように、電波の生体影響評価研究で、国際機関における安全性評価において、我が国の細胞研究の成果は、多大な貢献を行っている。

1.3.2. 細胞研究の指標

上記の論文で主に検討されてきた細胞評価の指標を表1に示す。特に、遺伝毒性試験の単独ばく露では、小核形成、DNA鎖切断、複合ばく露ではマイトマイシンC、さらに、非遺伝毒性試験では、免疫システム、遺伝子発現、遺伝子解析やアポトーシスなどが有力指標となっている。

表1. 評価・検討された細胞研究の代表的指標

		評価指標
遺伝毒性	単独 ばく露	小核形成、DNA鎖(切断)、染色体異常、 染色分体交換、突然変異
	複合 ばく露	化学物質(化学療法剤：マイトマイシン C、ドキソルビシン；DNA損傷剤：メナ ジオン)、放射線、紫外線
非遺伝毒性		免疫システム、遺伝子発現(HSP、 proto-oncogenes)、シグナル伝達、遺 伝子解析(プロテオミクス、トランス クリプトミクス)、 ROS(reactive oxygen species)、細胞 増殖、細胞周期、アポトーシス

1.3.3. 研究に用いられている主な細胞の由来

これまでの電波の生体影響研究において、細胞研究では、ヒト由来、動物由来、大腸菌など種々の細胞が用いられている。ヒト由来細胞では、末梢血白血球(正常PBL)、脳腫瘍、子宮頸がん、皮膚、白血病、羊膜、レンズ、肺などの由来細胞が代表的である。ヒト以外の哺乳動物由来細胞では、中国ハムスター(CHO)由来の卵巣(CHO-K1)や肺(V-79)、マウス由来白血病細胞、ラット由来ニューロンなどがある。その他として、大腸菌やイーストも用いられている。

1.3.4. 細胞実験研究の対象となっている電波の周波数帯

細胞研究で対象としている電波の周波数帯は、そのほとんどが、800~2,000MHzと 2,450 MHzである。その他として、IARC 評価で引用された周波数は、7,700MHzと 9,000MHzでそれぞれ1件ずつ遺伝毒性試験報告があった。

1.3.5. IARC発がん性評価における細胞実験研究の評価

IARC において、細胞研究の評価では、証拠として、①強い(Strong)、②中程度(Moderate)、③弱い(Weak)、④なし(No evidence)に分類した。遺伝毒性について、多くはネガティブ報告ではあるが、一部の陽性報告を考慮し、「弱い証拠」とした。ただ、突然変異については「証拠なし」とした。免疫機能については、遺伝毒性に比べ報告数も少なく、ネガティブ、ポジティブ共に報告があり、今後の研究推進を図る意味を込めて、「不十分な証拠」とした。遺伝子、タンパク発現、シグナル伝達については、ポジティブデータを支持する十分な追試報告もなく、「弱い証拠」とした。つまり、ヒトの発がんに関与するメカニズムとして、説明するには、不十分である。その他、非熱的ばく露条件での酸化ストレスや、神経機能などへの影響つい

ては「弱い証拠」とした。

1.3.6. 細胞研究のまとめ

これまでの細胞研究成果を簡単にまとめると以下のように考えられる。

1. 携帯電話で用いられている周波数帯(数100MHz～2GHz)および、2.45GHzに関しては、100編を超える相当数の遺伝毒性を指標とした研究が論文発表され、非熱的ばく露環境において、そのほとんどはネガティブである。
2. 非遺伝毒性を指標とした研究では、免疫機能、ストレスタンパクの発現など、一部において陽性効果の報告はあるが、精度の高い再現実験で確かめられてはいない。ただ、論文数は少なく、最終的結論を出すには、さらなる研究が必要である。
3. 上記に挙げた周波数帯以外(例えば中間周波、超高周波帯)では、現時点で、細胞研究実績は極めて少ない。

1.3.7. 細胞実験において推奨される今後の研究課題

これまでの細胞研究成果を基にして、今後、将来にわたって利用される多様な電波を想定すると、これから検討すべき研究課題は、以下のように考えられる。

1. 研究方法として、短期ばく露(数10分～数時間)の実験が多く、低レベルで長期ばく露(10時間～数日)の研究が望まれる。
2. 超高周波や急速な開発が進んでいるワイヤレス給電(WPT)で使用される中間周波数帯電磁波の安全性評価研究などが極めて少なく、新たな研究として推奨される。
3. 指標としては発がん性に関与する遺伝毒性試験が多く行われている。新規の周波数帯においては、遺伝毒性試験は必要不可欠である。ただ、すでに遺伝毒性試験が進められている周波数帯では、むしろ、DNA 以外の細胞諸機能(免疫機能含む)をターゲットとした研究推進の必要性が高いと考える。
4. 生活環境において、新たな電磁波利用が高まる中、安全性評価の一環として、これらの細胞研究の推進が望まれる。

これらの考察から、安全性評価の一環として、以下に、推奨される今後の研究課題としての具体例を挙げる。

1. 電波の長期ばく露における細胞生物学的影響評価
2. 超高周波(ミリ波、テラヘルツ波)の免疫機能に対する細胞生物学的影響評価
3. ワイヤレス給電技術から発生する中間周波数帯電波の細胞遺伝毒性評価ならびに細胞機能的影響評価(遺伝子発現、免疫機能含む)

1.4. ヒト研究の動向 【寺尾構成員】

電磁波(EMF)のヒトへの影響については、携帯電話との距離が最も近い脳への影響が注目されてきたが、実際脳への影響を扱っている論文が圧倒的に多い。そこで本稿では電磁波(EMF)の脳機能への影響を中心に、1994年からほぼ20年間、とりわけ2006年以降の研究を詳しく評価・総括する。携帯電話の電磁波への脳の影響に関しては、認知機能への影響、被験者の主観的評価、覚醒時の脳波に対する影響、睡眠(脳波)に対する影響、誘発電位に対する影響、脳血流(代謝)に対する影響などが評価方法として用いられている。既存の総説(文献参照)をもとに、最近の方向をさらに足して検討を行った。これらの研究で用いられているばく露環境には、携帯端末をそのまま使用する方法と模擬的に作り出した基地局の電波をばく露する場合がある。

1.4.1. 認知機能への影響

電磁波のばく露の認知機能(記憶、注意、集中)への影響については、表1に示すような研究がある。表の2行目はばく露した電磁場の種類、3行目は評価項目(この場合は認知機能課題の種類)、4行目に各研究で得られた知見が記載されている。知見の項で黒い文字で示した研究は、EMFばく露により何等かの効果があったとしているもの(以下 positive study)、青い文字の研究はEMFの有意な効果がなかったとしているもの(以下 negative study)である。全体では、やや negative studyが多く、特に2006年以降の研究で negative studyが多い。また positive studyにおいても、結果の解釈は注意しなければならない。例えば Koivistoらの2000年の2つの論文は positive study であるが、同じグループの Haaralaらが行った2003、2004年の追試では、これらの結果は確認されていない。信頼性の高いとされる2006年以降の研究で negative studyが多いことから、全体的に電磁波の認知機能への影響はあまりないということになると考えられる。あるいは、認知機能は電磁波の影響をみるのに十分鋭敏な指標ではない可能性もある。

1.4.2 被験者の主観的評価

Provocation study(誘発試験)は、電磁場のばく露により誘発される被験者の主観的な症状、たとえば頭痛、疲労感、自覚的な気分(不快・不安感)、生理的指標などを調べた研究である(表2)。ここでも多くの研究が negative study であり、2006年以降の研究では、Rubinらの2008年の研究を除き、ほぼ全てが negative study である。従って全体的に電磁波の被験者の主観的症狀への影響はあまりないということになると考えられる。あるいは被験者の主観的評価は、電磁場(EMF)の脳機能への影響を検討する上で、十分鋭敏な指標でない可能性もある。

表2で赤い文字で示してある三つの研究は、電磁場に“過敏”とされる被験者を扱っている(Rubin et al (2006)、Elititi et al (2007)、Furubayashi(2009))。いずれの研究でも、電磁場に“過敏”な被験者に対して、本人にわからないように実ばく露とシャムばく露を行っている。これらの研究では被験者本人の電磁場に“過敏”であるとの申告にもかかわらず、明らかに実ばく露と

シャムばく露を知覚・区別できていたという証拠は得られなかった。この問題については、電磁場の過敏についての項で別途扱う。

1.4.3 覚醒時の脳波の影響

電磁場の覚醒時脳波への影響については、表3にあるように脳波の各帯域(α 波:8-13Hz、 β 波:14-Hz、 θ 波:4-7Hz、 δ 波:1-3Hz)の power の変化をみている研究が多い。近年の研究では皮質領域同志の機能的連関をみている研究もある(Vecchio et al 2010、2012)。ここでも電磁場の影響に関して否定的な報告をしている negative study が多いが、電磁波の脳機能への影響をみた研究のうち、この領域の研究では比較的 positive study が多いのが特徴である。他の領域の研究と同様、2006年以降の研究では、negative study が多い。2006年以前の研究については、電磁場ばく露の仕方や実験方法・統計解析の方法について十分な記載がなされていない研究も多く、結果の解釈には注意が必要である。positive study の報告をみると、 α 帯域、ときに β 帯域の脳波の power が増加した、あるいは減少したとする報告が多い。しかし、 α 帯域、あるいは β 帯域の脳波の power は被験者の覚醒度に大きく影響されるため、これらの変化を正確に検出するためには、覚醒度を十分にコントロールしなければいけない。この点について十分な考慮がなされている研究は少なく、この点でも結果の解釈に注意を要する。覚醒度の問題は次項において詳しく述べる。

1.4.4. 睡眠および睡眠時脳波への影響

睡眠および睡眠時脳波への電磁場の影響については、表4に示すような研究があり、睡眠中の脳波の帯域、REM 睡眠の比率、睡眠の構造などについて検討している研究が多い。この領域についても negative study と positive study 両方があるが、全体としては negative study が多い。睡眠自体への影響として、Hung ら(2007)では電磁場のばく露により睡眠潜時が短くなった報告しているが、これはそれ以前あるいは以降の研究で確認されていない。一方睡眠脳波に対する影響も 2006年以降の研究では、概ね否定的な見解が多い。

覚醒時の脳波への影響と同様、睡眠時脳波はもともとの時間的な変動が著しく、覚醒度も大きく影響するため、実験方法は覚醒度をコントロールできるように十分に留意したものでなければならない。Enomoto ら(2013)の研究では、睡眠実験を3日間にわたって行い、それぞれの被験者に対して実ばく露とシャムばく露をランダムな順序で行っている。この際最初の一日目の睡眠脳波のデータは、first night effect があるため捨てており、あとの二日間の脳波データのみを解析に用いている。脳波を対象とした研究では、このような刻一刻と変動する状態を考慮する必要があるが、これまで多くの研究においてそのような考慮がなされていない。

1.4.5.. 誘発電位への影響

誘発電位への電磁場の影響を調べた研究も、多くは negative study である(表5)。とりわけ

2006 年以降の研究はほぼ negative study で占められている。

1.4.6. 脳血流(代謝)への影響

脳血流への影響についても negative study が多い(表6)。Positive な結果を出している一部の研究でも、携帯端末の近くの脳部位で血流(代謝)が変化するという報告がある一方、これと全く関係ない領域での血流(代謝)が変化するなどの報告があり、必ずしも結果の一致をみえない。

1.4.7. 考察

過去 20 年にわたる電磁場の人の脳機能に対する影響に関する文献を総合的に評価した結果、被験者の主観的評価、認知機能、生理学的視標、覚醒脳波、睡眠脳波、誘発電位や脳血流(代謝)への影響については否定的な研究が多いことがわかった。特に実験方法などから評価に耐える 2006 年以降の研究において、その傾向が強いことが明らかになった。逆にそれ以前の初期の研究では、ばく露方法、実験のプロトコル、統計解析法についての十分な記載がなされていないものが多く、十分な評価にたえないものもある。また追試実験において、同じ研究グループの研究者が以前の実験で得た結果が必ずしも再現されていないことがあり、結果の信頼性に関して疑問がのこる。これまでの研究の動向を総括すると、電磁場の脳機能への影響は、少なくとも急性ばく露実験に関しては概ね否定的であるといえる。ただ電磁場ばく露のリスクは非常に小さいと考えられる一方で、ゼロとは言い切れないのも事実であるため、今後どのような研究を推進していくのか、よく検討しなければならない時期に来ていると考えられる。

これらの研究で用いられている電磁場は殆ど GHz 帯である。この帯域の電磁場が現在用いられている強度で、果たして神経系に十分影響を及ぼすかどうかについては、神経生理の専門研究者の間では以前から疑問視されてきた。従って、上で総括した研究が概ね negative study であり、とりわけ信頼性の高い 2006 年以降の研究において negative study が多いことは、全体として十分理解・納得できるものといえる。このような状況に鑑みて、電磁場の影響の検討をこれまでのばく露や実験方法のまま継続することには問題があると考えられる。むしろ同じばく露実験をするならば、より細胞生物学的レベルでばく露の研究を行う必要があるという意見もある。また近年、高周波応用機器、ワイヤレス電力伝送など電波の利用が広く多様化しており、別の帯域の電磁場の影響を検討していくなど研究の方向性をシフトしていく必要もあると思われる。

それでは、これまで電磁場の脳機能への影響に関して positive study が少なからず存在する事実についてはどのように考えたらよいであろうか。まず一つの可能性は、初期の研究ではまだ実験方法自体が十分に確立されておらず、信頼できるデータではなかった可能性がある。電磁場の影響はあったとしても比較的小さいこと、影響には被験者の個人差があることも考慮に入れれば、少なくとも以下の条件を満たしている研究のみを評価の対象にすべきであると考

える。

1. 実ばく露、sham ばく露の比較がなされている (sham ばく露のみでも影響が出る可能性があるため、実ばく露、sham ばく露の比較が必要である)。
2. Double blinded protocol で行われている (検者、被験者ともに bias がかかっているはいけない)。
3. Crossover design で行われている (同じ被験者で実ばく露、sham ばく露両方を行ったときに差があるかを検討するため)。
4. Counterbalanced and randomized order (実ばく露、sham ばく露の順序を random にする。同じ実験を繰り返すことによる疲労や学習効果などを避けるため)。
5. 統計学的に Multiple comparison を考慮している (多重比較による間違った結論を避けるため)。
6. ばく露の影響の評価を自己の主観的評価に頼りすぎるべきではない (主観的評価は十分に鋭敏でない上、被験者個人の体調など、調べたい実験条件以外の因子に左右されやすい)。

このような条件を満たす研究は、2006 年以前の研究については少ない一方で、2006 年以降の研究では信頼性の高い実験が多い。結果のところでも述べたように 2006 年以降の研究では negative study の比率が極めて大きくなっているのが特徴である。

第二の可能性として、電磁場の脳機能への影響と思っていたものが、実は電磁場以外の因子の影響だったという誤認が起こっている可能性も考慮しなくてはならない。例えば携帯端末を操作する際には、電磁場ばく露の影響以外にもそれを使用すること自体による認知機能や脳波への影響が大きい。携帯端末の文字盤の操作に集中すると、まわりのものに注意がいなくなり、歩きながら端末を操作して人がプラットフォームから線路に転落したり他の人にぶつかったりするの周知の事実である。このような傾向はスマートフォンが普及してからより顕著になっているが、携帯電話の使用自体が注意力・集中力や認知機能、に影響を与える一つの例であると考えられる。電磁場ばく露による小さい影響がこのような比較的大きな認知機能への影響によってマスクされてしまう、あるいは携帯電話使用自体による認知機能への影響を電磁場の影響と間違えるということも起きうる。

また長い実験の間には覚醒度や集中力が低下してくるので、そのこと自体も被験者の認知機能や脳波、脳血流に大きな影響を与える可能性がある。もともと電磁場ばく露による脳機能への影響が小さいと考えられる一方で、電磁場以外の携帯電話操作自体や実験条件による認知機能の変化・変動は比較的大きいとすれば、電磁場ばく露自体の影響を検出するにはかなり多数例で精度の高い計測を行わなければならないと考えられる。

考察の最初に述べたこともあわせると、たとえ陽性の結果が出た場合にも、基盤となる神経生理学的な知見の裏付けが必要である。データの信頼性を増すには、例えばばく露の強さと効果の大きさの間に用量-反応関係 (dose response relationship) などを示すことも重要になるで

あろう。

電磁場の脳機能への影響については、電磁波に対して“過敏”な一部の被験者の存在が状況を複雑にしている。これについては別項(「電磁過敏症についての考え方」)で述べたい。

最後に、これまでの検討はいずれも主として急性ばく露に関するものであり、長期的な影響についてはあまり評価されてこなかった。電磁場の長期ばく露による脳腫瘍の発生の可能性など様々な疫学的調査があることから、脳機能への影響についても長期の慢性ばく露による影響がないかどうかを検討することが今後必要になってくると思われる。この場合も電磁波自体の影響を検出する上で、携帯電話の使用自体が認知機能に与える長期的影響を考慮に入る必要があり、このことに関する検討も必要になってくると思われる。

参考文献

Augner C, Gnamb T, Winker R, Barth A. Acute effects of electromagnetic fields emitted by GSM mobile phones on subjective well-being and physiological reactions: a meta-analysis. *Sci Total Environ.* 2012;424:11-5.

Barth A, Ponocny I, Gnamb T, Winker R. No effects of short-term exposure to mobile phone electromagnetic fields on human cognitive performance: A meta-analysis. *Bioelectromagnetics.* 2011 [Epub ahead of print].

Feychting M. Mobile phones, radiofrequency fields, and health effects in children -epidemiological studies. *Prog Biophys Mol Biol.* 2011;107:343-8.

Furubayashi T, Ushiyama A, Terao Y, Mizuno Y, Shirasawa K, Pongpaibool P, Simba AY, Wake K, Nishikawa M, Miyawaki K, Yasuda A, Uchiyama M, Yamashita HK, Masuda H, Hirota S, Takahashi M, Okano T, Inomata-Terada S, Sokejima S, Maruyama E, Watanabe S, Taki M, Ohkubo C, Ugawa Y. Effects of short-term W-CDMA mobile phone base station exposure on women with or without mobile phone related symptoms. *Bioelectromagnetics.* 2009;30:100-13.

Ghosn R, Villégier A-S, Selmaoui B, Thuróczy G, de Sèze R. Effets des radiofréquences sur le système nerveux central chez l'homme : EEG, sommeil, cognition, vascularization. *Compte Rendu Physique* 2013;14:395-401.

Juutilainen J, Höytö A, Kumlin T, Naarala J. Review of possible modulation-dependent biological effects of radiofrequency fields. *Bioelectromagnetics.* 2011;32:511-34.

Kesari KK, Siddiqui MH, Meena R, Verma HN, Kumar S. Cell phone radiation exposure on brain and associated biological systems. *Indian J Exp Biol.* 2013;51:187-200.

Kwon MS¹, Hämäläinen H. Effects of mobile phone electromagnetic fields: critical evaluation of behavioral and neurophysiological studies. *Bioelectromagnetics.* 2011;32:253-72.

Nakatani-Enomoto S1, Furubayashi T, Ushiyama A, Groiss SJ, Ueshima K, Sokejima S, Simba AY, Wake K, Watanabe S, Nishikawa M, Miyawaki K, Taki M, Ugawa Y. Effects of electromagnetic

fields emitted from W-CDMA-like mobile phones on sleep in humans. *Bioelectromagnetics*. 2013;34:589–98.

van Rongen E, Croft R, Juutilainen J, Lagroye I, Miyakoshi J, Saunders R, de Seze R, Tenforde T, Verschaeve L, Veyret B, Xu Z. Effects of radiofrequency electromagnetic fields on the human nervous system. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev*. 2009;12:572–97.

表1. 電磁波のばく露と認知機能(記憶、注意、集中)

authors	electromagneticfield	Task performed	findings
Preece et al. (1999)	915-MHz GSM, telecommunication	mobile short- and long-term memory, simple and choice reaction time, and sustained attention	significant shortening of reaction time in choice reaction time, no change in simple reaction time
Koivisto et al. (2000a)	900-MHz GSM, mobile phone	Simple and choice reaction time tasks, vigilance task	no significant reaction time in choice reaction time, reduction in simple reaction and vigilance task
Koivisto et al. (2000b)	900-MHz GSM, mobile phone	12 cognitive tasks including simple reaction time and vigilance tasks, mental arithmetics task	speeding up of response times in simple reaction time and vigilance tasks, the cognitive time needed in a mental arithmetics task was decreased
Haarala et al. (2003b,2004)	902-MHz GSM pulsed EM field	short term memory task	Failure to confirm above results, no effects on adults' and children's cognitive function
Lass et al. (2002)	450-MHz RF modulated at 7 Hz	3 cognitive tasks including memory recognition task	no significant effects in exposed group, showing worse performance and greater intersubject variability. Fewer errors on the memory recognition task in exposed subjects.
Edelstyn & Oldershaw (2002)	900-MHz GSM mobile phone	6 widely used cognitive tasks	exposure facilitated cognitive tasks involving attentional capacity and one task that involved processing speed
Zwamborn et al. (2003)	UMTS-like signal at 10 V/m.	reaction time, memory comparison, dual-tasking, selective visual attention, and filtering irrelevant information	No significant effects on the cognitive functions
Smythe & Costall (2003)	900-MHz GSM mobile phone	short- and long-term memory tasks	males exposed to an active phone made fewer spatial errors than those exposed to an active phone condition, while females were largely unaffected
Maijer et al. (2004)	900-MHz GSM-type RF	Discrimination of auditory stimuli	Exposure significantly reduced the subsequent performance of the task
Curcio et al. (2004)	900MHz GSM	acoustic simple reaction time task, visual search task, arithmetic descending subtraction task, acoustic choice reaction time task	Significant reduction of both simple and choice reaction times, subjects exposed before testing performed more rapidly than those exposed during testing
Besset et al. (2005)	900-MHz GSM	neuropsychological battery of 22 tasks screened information processing, attention, memory, and executive function	no significant effect of RF exposure on task performance
Russo et al. (2006)	888-MHz continuous-wave (CW) or GSM RF	reaction-time task, 10-choice serial reaction time task, subtraction task, and vigilance task, Rey's audiovisual learning test, digital span test,	no significant effects of RF exposure on task performance
Keetley et al. (2006)	GSM RF radiation	digital symbol substitution test, speed of comprehension test, trail making task, reaction time task, choice reaction time task, and inspection time task	simple and choice reaction times showed significant impairment
Eliyahu et al. (2006)	GSM mobile phone RF radiation	spatial item recognition task, spatial item recognition task, spatial compatibility tasks	exposure of the left hemisphere of the brain resulted in slower left-hand responses in the second session compared to the first, for the spatial item recognition task and one spatial compatibility task
Terao et al (2006)	800-MHz mobile phone	Preceded choice reaction time task	Exposure did not have any significant effect on reaction time or accuracy
Eliyahu et al. (2006)	GSM mobile phone RF radiation	spatial item recognition task, spatial item recognition task, spatial compatibility tasks	exposure of the left hemisphere of the brain resulted in slower left-hand responses in the second session compared to the first, for the spatial item recognition task and one spatial compatibility task
Wilén et al. (2006)	mobile phone radiation	tests of arousal and vigilance, short-term memory, and reaction times	No significant effects of RF radiation on any cognitive variable
Haarala et al. (2007)	continuous or GSM signal operating at 0.25 W	simple reaction time, 10-choice reaction time, subtraction, verification, vigilance, and memory (n-back test).task	No significant difference on response between exposure to either the left or right hemisphere and sham exposure
Regel et al. (2007)	900-MHz GSM	Simple reaction time task, 2-choice reaction time task, n-back task, visual selective attention task	reduction of reaction time with increasing field strength for the 1-back task, and similar relations at trend level for the 2-back task and the choice reaction time task, but no significant effect on the simple reaction time or 3-back task.
Cinèl et al. (2007)	900MHz GSM-like and continuous wave signals	auditory order threshold task	Replication of the Maijer et al (2004) study on a larger number of subjects, no significant effect of exposure to RF EMF
Terao et al. (2007)	Mobile phone (1.95 GHz EMF at 0.27W net antenna input power, 250 mW)	visually guided saccade (VGS), gap saccade (GAP), and memory guided saccade (MGS) task	no significant effect on saccade tasks
Ridderbold et al. (2008)	2140-MHz base station-like signal modulated as UMTS, or a 2140-MHz continuous-wave signal	reaction time (RT) Rapid Visual Information Processing (RVP), Paired Associated Learning (PAL)	no significant effect on cognitive functions
Furubayashi et al. (2009)	2.14 GHz, 10 V/m (W-CDMA)	Preceded choice reaction time task	no significant effect on cognitive functions
Okano et al. (2010)	Mobile phone (1.95 GHz EMF at 0.27W net antenna input power, 250 mW)	antisaccade task, overlap saccade task, memory guided saccade task	no significant effect on inhibition of saccades
Curcio et al. (2012)	902.40 MHz GSM-EMF	somatosensory task	RTs in a somatosensory task resulted unaffected.
Vecchio et al (2012)	902.40 MHz GSM-EMF	visual go/no-go task	faster reaction time to go stimuli in the post- than pre-exposure

表 2. Provocation study (誘発試験)

authors	electromagnetic field	Symptoms assessed	findings
Koivisto et al. (2001)	pulsed 902-MHz field, 30min, 1hr	rate subjective symptoms and sensations	No significant differences were found between exposure conditions, although fatigue and headaches increased toward the end of sessions.
Hietanen et al. (2002)	RF EMFs	Blood pressure, heart rate, and breathing rate, report any abnormal feelings.	more symptoms were reported during sham exposure than during real exposure, subjects could not indicate sham exposure from real exposure
Rubin et al. (2006)	900-MHz GSM mobile phone radiation, 50min	Subjective scoring of the severity of headaches and various other symptoms such as nausea, fatigue, and dizziness	Prevalence of various symptoms experienced was higher in sensitive than non-sensitive subjects. No difference in detecting real/sham exposure between sensitive and non-sensitive subjects.
Wilén et al. (2006)	900-MHz (GSM) RF radiation, 30min	Physiological parameters such as heart-rate variability, electrodermal activity, and respiration rate, cognitive function tests	No significant effects of RF radiation on any physiological parameter were found. "Sensitive" subjects showed differences in heart-rate variability compared to controls
Oftedal et al. (2007)	450-MHz RF modulated at 7 Hz	headache, discomfort, and various physiological parameters	increase in headache and discomfort was found after sham but not after real exposure; subjects could not perceive being exposed. no effects on heart rate and blood pressure..
Zwamborn et al. (2003)	UMTS-like signal at 10 V/m., GMS signal at 0.7V/m	cognitive functions and self-reported well-being	A significant decrease in well-being after UMTS exposure, No significant effects were seen using GSM signals either at 900 or 1800 MHz
Regel et al. (2006)	2140-MHz UMTS base-station-like RF signal	self-reported well-being	Subjects were also not able to discriminate between exposure levels, but they reported more health complaints when they suspected exposure
Eltiti et al. (2007)	GSM and UMTS fields, 10 mW/m ²	Well-being, physiological functions, perception of EMF	well-being of the sensitive but not of the control subjects was decreased after GSM and UMTS exposure, skin conductance and heart rate were higher than in controls, but these parameters were not influenced by exposure. Perception of the on/off status of the field not better than chance in either group
Riddervold et al. (2008)	2140-MHz signal modulated as UMTS, or a 2140-MHz continuous-wave signal, 45 min	self-reported symptoms and perceptions of air temperature, air humidity, and air quality	no significant effect on symptoms and perceptions
Landgrebe et al. (2008)	mobile telephone exposure	fMRI	electrosensitive subjects, the areas of the brain that are activated in anticipation of, and during, sham exposure are the same that are activated in both sensitives and nonsensitives when they are exposed to heat
Rubin et al. (2008)	mobile telephone exposure	occurrence of symptoms	Well-being in those who use the label "electrosensitive" was worse than in the subjects that reported being sensitive to mobile phones but that did not use the label "electrosensitive," or in controls without symptoms.
Furubayashi et al. (2009)	UMTS-like signal at 10 V/m, 30min	Psychological and cognitive parameters, autonomic functions, perception of EMF and level of discomfort	The subjects with mobile phone-related symptoms did experience a higher level of discomfort than controls, but this was independent of the type of exposure. Perception of the on/off status of the field not better than chance in either group

表3. 覚醒時脳波への影響

authors	electromagnetic field	Parameters assessed	findings
Reiser et al. (1995)	GSM mobile phone	EEG power	Increased power of EEG frequencies in the 18–35 Hz
Röschke and Mann (1997)	GSM mobile phone positioned at 40cm from vertex	EEG power	No significant effect on the EEG
Borbély et al. (1999)	900-MHz "pseudo GSM signal"	EEG power	Increased resting EEG power in the 11–11.5 Hz bin only effect in only absolute but not relative power in one frequency band in one of four brain regions
Hietanen et al. (2000)	Analog and GSM at 900 and 1800 MHz, hand-sets	EEG power	"dimensional complexity" was more sensitive to the effects of RF signals than conventional indices.
Lebedeva et al. (2000)	900-MHz signal directed at the back of the head	EEG power	decrease of EEG power in all regions except frontal
Freude et al. (2000)	900-MHz GSM phone	EEG power during a visual monitoring task	Resting EEG reduced in the 10.5–11 Hz range
Huber et al. (2000)	900-MHz GSM signal	EEG power before sleep	Resting EEG reduced in the 10.5–11 Hz range
Huber et al. (2002)	900-MHz GSM signal, hand-set continuous-wave 900-MHz signal	Waking EEG	Increased power in the alpha band for pulse-modulated EMF only
D'Costa et al. (2003)	GSM phone positioned behind the head, the antenna pointing toward the head.	EEG power	EEG alpha (8–12 Hz) and beta (13–30 Hz) bands showed significant differences when the full power mode was on A slow-wave delta (2.4–6 Hz) appeared in areas on the side of the phone in adults, the slow waves with lower amplitude (1–2.5 Hz) appeared earlier in children
Kramarenko and Tan (2003)	GSM phone on standby	EEG power	Changes in the EEG in the frontal region
Hinnikus et al. (2004)	450-MHz microwaves with 7-Hz on-off modulation	EEG power	exposure decreased the power in males and increased it in females, no effect of exposure on performance in the memory test, no details of experimental setup given
Papageorgiou et al. (2004)	GSM-like signal	EEG power during a memory test	A small increase in some frequencies in the alpha band, stronger under exposure
Curcio et al. (2005)	900-MHz GSM phone	EEG power	decrease in EEG power in the theta, alpha, and beta bands, decrease in the variations in the delta band, in the epileptic patients an increase in power in all EEG bands
Maby et al. (2006)	undefined GSM mobile phone	EEG power	Significant changes in the ratio of the EEG power in the beta and theta frequency bands
Bachmann et al. (2007)	450-MHz signal, pulse modulated at 1000 Hz, 30min	EEG power	the connectivity between both brain hemispheres in parts of the alpha band (8–12 Hz)
Vecchio et al. (2007)	GSM phone located at the left side of the head	EEG connectivity	An increase in frequencies in the alpha band
Regel et al. (2007)	GSM-type pulsed or continuous, planar antenna.	EEG power	No significant effect of either type of signal on any EEG band
Perentos et al. (2007)	900-MHz GSM mobile phone or a 900-MHz continuous wave	specified EEG bands	Significant changes in the alpha (8–13 Hz) and beta (15–20 and 22–38 Hz) bands with the 14- and 21-Hz modulations, No effect of the 7-Hz modulation
Hinnikus et al. (2008)	7-, 14-, and 21-Hz pulse-modulated 450-MHz microwaves	EEG power	An increased power in the alpha band, larger on the ipsilateral compared to the contralateral side in posterior regions
Croft et al. (2008)	875-MHz GSM phone	EEG power	No significant changes in the measured parameters
Kleinlogel et al. (2008)	1950 MHz UMTS (SAR 0.1 and 1 W/kg), pulsed 900 MHz GSM (1 W/kg)	EEG power	young adults' alpha was greater in the 2G compared to Sham, no effect was seen in the adolescent or the elderly groups no effect of 3G exposures was found in any group
Croft et al. (2010)	2nd generation (2G) GSM, and 3rd generation (3G) W-CDMA	EEG power (alpha activity)	increases in inter-hemispheric functional coupling of electroencephalographic rhythms
Vecchio et al. (2010)	GSM-EMF	inter-hemispheric functional coupling of electroencephalographic rhythms delta (about 2-4 Hz), theta (about 4-6 Hz), alpha1 (about 6-8 Hz), alpha2 (about 8-10 Hz), and alpha3 (about 10-12 Hz)	Increased inter-hemispheric synchronization of the dominant (alpha) EEG rhythms in elderly during GSM
Vecchio et al. (2012)	GSM-EMF	inter-hemispheric functional coupling of electroencephalographic rhythms delta (about 2-4 Hz), theta (about 4-6 Hz), alpha1 (about 6-8 Hz), alpha2 (about 8-10 Hz), and alpha3 (about 10-12 Hz)	increases in inter-hemispheric functional coupling of electroencephalographic alpha rhythms
Trunk et al. (2013)	3rd generation (3G) Universal Mobile Telecommunications System UMTS	EEG power (alpha activity)	No measurable effects on the EEG spectral power in delta, theta, alpha, and beta frequency bands

表4. 睡眠(脳波)への影響

authors	electromagnetic field	power of exposure	findings
Reite et al. (1994)	27.12MHz modulated at 42.7Hz		decreased sleep latency by 2min, increased deepsleep by 1min
Mann & Röschke (1996)	900MHz GSM		reduced sleep onset latency, reduced percentage REM sleep with increased power density of alpha wave
Wagner et al. (1998)	900-MHz GSM	0.5 and 0.2 W/m ²	failed to replicate Mann and Röschke (1996)
Borbély et al. (1999)	"pseudo GSM"900-MHz		reduced number of waking episodes after sleep onset, EEG power spectra during the first of the night's episodes of REM sleep
Wagner et al. (2000)	GSM 900-MHz, 50 W/m ²	2 W/m ²	no significant effects on sleep architecture or EEG spectral power density
Huber et al. (2000)	900MHz GSM, antenna		increased spectral power in alpha and beta bands (9.75–11.25 Hz and 12.5–13.25 Hz) in the first non-REM sleep phase.
Huber et al. (2002)	900MHz GSM, hand-set		significant rise in the 12.25–13.5 Hz band during sleep
Loughran et al. (2005)	894.6-MHz mobile phone	larger sample (50)	increase in spectral power only in the 11.5–12.25 Hz range
Regel et al. (2007)	900MHz GSM	similar as Huber et al. (2002)	dose-related increase in spectral power in the 10.75–11.25 Hz and 13.5–13.75 Hz bands during non-REM sleep
Fritzer et al. (2007)	"pseudo" GSM900-MHz	similar as Borbély et al.	No significant differences in any parameter
Hung et al. (2007)	900-MHz GSM	different ELF pulse modulations	an increase in sleep latency, no change was seen in 1–4 Hz EEG power
Lowden et al. (2011)	884 MHz GSM, on-DTX and DTX mode	10 g psSAR of 1.4 W/kg	decreased time in Stages 3 and 4 slow-wave sleep, increased alpha range in the sleep EEG
Danker-Hopfe et al. (2011)	900MHz GSM, mobile phones W-CDMA		No evidence indicative of a negative impact on sleep architecture
Enomoto et al. (2013)	1950 MHz, mobile phones W-CDMA	SAR 1.52 and 0.13 W/kg	No significant differences sleep variables and power EEG spectra

表5. 誘発電位への影響

authors	electromagnetic field	ERP modality	findings
Freude et al. (1998)	916.2 MHz EMF pulse modulated at 21.7 Hz	visual ERP	reduction in the amplitude of potentials in the central and temporo-parieto-occipital regions
Freude et al. (2000)	916.2 MHz EMF pulse modulated at 21.7 Hz 900-MHz GSM phone	Bereitschaftspotential, CNV	no marked effect
Urban et al. (1998)	900-MHz GSM mobile phone	visual ERP	No significant effects of exposure
Jech et al. (2001)	900-MHz GSM	visual ERP (visual oddball task)	enhanced amplitude of two components of the brain's response to the oddball stimuli, but only when the stimuli were presented to the right half of the visual field
Arai et al. (2003)	900-MHz GSM pulsed EM field	auditory brainstem response (ABR), the ABR recovery function and middle latency response (MLR)	None of the 3 measures were affected by exposure to pulsed EM field emitted by a mobile phone
Yuasa et al. (2006)	GSM 900-MHz, mobile phone RF	somatosensory ERP	No significant effects on somatosensory ERP or its recovery function.
Ferreri et al. (2006)	GSM mobile phone RF radiation	cortical excitability studied by TMS event-related desynchronization/synchronization (ERD/ERS)	transient decrease in intracortical inhibition and a transient increase in intracortical facilitation
Krause et al. (2000a, 2000b)	902MHz GSM	ERD/ERS	increased the ERD/ERS responses in the 8–10 Hz frequency band only. Exposure effects at 6–8 and 8–10 Hz
Krause et al. (2004).	894.6-MHz mobile phone	EEG during visual and auditory memory task	ERD/ERS responses in the 4–8 Hz EEG frequency range, Failed replication of the findings from their earlier study
Krause et al. (2007)	900MHz GSM-like and continuous wave signals	Auditory Brainstem Response (ABR)	No significant effects of exposure to either type of signal on performance
Stefanics et al. (2007)	900MHz GSM Mobile Phone	N100, N200, P200 and P300 in auditory oddball paradigm	No significant differences in the latency of ABR waves I, III and V before and after genuine/sham EMF exposure
Stefanics et al. (2008)	3G MTS mobile Phone	Single and double pulse TMS	No measurable changes in latency or amplitude of ERP components or in oscillatory gamma-band activity
Terada et al. (2007)	PulsedEMF, 800 MHz frequency band	N100 and P300 in auditory oddball paradigm	no effect on any parameters of MEPs
Kleinlogel et al. (2008)	UMTS RF exposure	Mismatch negativity (MMN) of Auditory event-related potentials	No deleterious effects of UMTS RF exposure
Kwon et al. (2009, 2010)	900MHz GSM, mobile phones W-CDMA	auditory event-related potentials (ERPs) and automatic deviance detection processes reflected by mismatch negativity (MMN)	no statistically significant effects on MMN, either in adults or children
Trunk et al. (2013)	3G MTS mobile Phone		no measurable effects of a 30 min 3G mobile phone irradiation on the EEG spectral power

表6. 脳血流(代謝)への影響

authors	electromagnetic field	imaging modality /task performed	findings
Huber et al. (2002)	900-MHz GSM, mobile phone	PET	significant increase in rCBF in the dorsolateral prefrontal cortex of the left (exposed) hemisphere
Huber et al. (2005)	900-MHz GSM, base-station-like and mobile-phonelike exposure	PET	Increased rCBF the dorsolateral prefrontal cortex on the side of exposure only for mobile phone-like exposure
Haarala et al. (2003)	902-MHz GSM-phone signal	PET/visual working memory task	bilateral decrease in rCBF in the auditory cortex, no significant change in the task performance
Aalto et al. (2006)	900-MHz GSM	PET	reduced rCBF close to the antenna, and an elevation at various other locations deeper in the brain
Mizuno et al. (2009)	195MHz, W-CDMA	PET	no significant rCBF changes caused by the EMF
Volkow et al. (2011)	acute cell phone exposure	PET	increased cerebral metabolic rates of glucose in the brain regions closest to the active handset
Kwon et al. (2012)	902.4-MHz GSM, mobile phone	PET	no significant rCBF changes caused by mobile phone

1.5. 疫学研究の動向 【武林構成員】

1.5.1 IARC による発がん性評価とその根拠となった研究

International Agency for Research on Cancer. Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields. *Lancet Oncol.* 2011 ;12(7):624-6.

IARC は、radiofrequency electromagnetic fields(周波数帯 30 kHz-300 GHz。以下、高周波電磁界)の発がん性に関する 2011 年開催の作業部会の結論として、Group 2B (possibly carcinogenic to humans、ヒトに対して発がん性があるかもしれない)に分類した。その根拠として、ヒト(疫学)および実験動物(毒性試験等)の両方で、発がん性に関する限定的な証拠 (limited evidence in humans and in experimental animals)があったことを挙げている。

ヒトに関する評価において、中心的な役割を果たしていると考えられる疫学研究は、INTERPHONE 研究およびスウェーデン Örebro の研究グループのものである。INTERPHONE 研究の詳細は、山口による総説に詳しい。

山口直人. ラジオ波電磁界に対する IARC 発がん性評価～携帯電話端末使用と脳腫瘍リスクに関する疫学研究を中心に～. *日衛誌* 2013;68:78-82)。以下、研究の概要に関する部分を引用する。

INTERPHONE 研究は、イギリス、スウェーデン、フィンランド、デンマーク、ノルウェイ、ドイツ、フランス、イタリア、カナダ、オーストラリア、ニュージーランド、イスラエル、そして日本の 13 カ国が参加して国際共同で実施された大規模症例対照研究である。1990 年代に入って、既に述べたコホート研究、症例対照研究の結果が報告されるようになったが、これらの疫学研究には規模の面で限界があり、国際共同研究を実施すべきとの意見が大きくなった。1997 年には IARC が主催する会合において、多施設共同研究として疫学調査を実施する可能性が検討され、多くの国から強い興味を示されたことを受けて、共通の研究プロトコールに基づく国際共同疫学研究の可能性が検討されることとなった。このような経緯でスタートしたのが、INTERPHONE 研究であり、わが国も総務省内に設置された生体電磁環境研究推進委員会の基で検討がなされ、参加することとなった。研究成果は、神経膠腫と髄膜腫については 2010 年に公表され、聴神経鞘腫については 2011 年に公表された。プロトコールの詳細は論文として公表されている。対象となった疾患は、神経膠腫、髄膜腫、聴神経鞘腫、耳下腺悪性腫瘍である。年齢は 30 ～ 59 歳で、2000 年から 2004 年の症例を集積し、住民対照との間で、対面インタビュー調査で得られた携帯電話端末使用について比較が行われた。携帯電話の使用歴については、定常的な使用の有無のほか、使用頻度(1 日通話回数、1 回通話時間)を調査した。臨床情報としては、腫瘍の組織病理所見、腫瘍の位置に関する情報、腫瘍の位置については三次元上の位置情報が医療機関から収集された。統計解析は条件付ロジスティック回帰分析が用いられ、教育歴、結婚歴を交絡因子として補正してオッズ比が求められた。また、潜在する疾患のために携帯電話使用が影響される可能性

を考慮して、症例において腫瘍が診断された日時 of 1 年前を「基準日」と設定し、それよりも過去の携帯電話使用歴を解析の対象とした。各症例と組になっている対照群についても症例の基準日より以前の携帯電話使用歴を解析対象とした。症例と対照の間で比較したのは、携帯電話使用歴の有無、使用者(註:週1通話以上を6ヶ月以上継続した場合に、携帯電話使用者と定義)の場合、累積使用年数(使用開始から通算して携帯電話を使用した年数)、累積コール数、累積使用時間(1回通話時間の平均値に通話の頻度と通話年数をかけて得られた累積値)である。

The INTERPHONE Study Group. Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. *Int J Epidemiol*. 2010;39(3):675-94.

神経膠腫、髄膜腫という二つのタイプの脳腫瘍に関する結果は、2010年に公表された。症例群は、神経膠腫 2708 例、髄膜腫 2409 例で、性別、年齢をマッチした対照群は、それぞれ 2972 例、2662 例であった。携帯電話使用者と非使用者を比較した結果、携帯電話使用による神経膠腫、髄膜腫罹患の全体のオッズ比(overall odds ratio)は、それぞれ、0.81 (95%信頼区間:0.70 - 0.94)、0.79 (0.68 - 0.91)と、有意に 1 を下回っていた。累積使用年数や累積コール数との間にも関連は認められなかった。使用期間 10 年以上の群でも、リスク上昇は認められていない。しかし、携帯電話使用者を累積使用時間数で 10 分位にわけて解析したところ、神経膠腫について、累積 1640 時間以上の携帯電話使用者でオッズ比 1.40(95%CI 1.03-1.89)と統計学的に有意なオッズ比上昇が認められた。ただし、それ以下の使用者群のオッズ比はいずれも 1 付近あるいは 1 より小さく、もっともヘビーユースの群のみでリスクの増加が観察される結果であった。同様に、腫瘍の位置別に解析した場合も、側頭葉の神経膠腫で、1640 時間以上の携帯電話使用者のオッズ比のみ、1.87(1.09-3.22)と有意の上昇であった。髄膜腫については、有意なリスクの上昇は観察されなかった。以上より、著者らは次のように結論している。

- Overall, no increase in risk of glioma or meningioma was observed with use of mobile phones.
- There were suggestions of an increased risk of glioma at the highest exposure levels, but biases and error prevent a causal interpretation.
- The possible effects of long-term heavy use of mobile phones require further investigation.

Hardell et al. Pooled analysis of case-control studies on malignant brain tumours and the use of mobile and cordless phones including living and deceased subjects. *Int J Oncol* 2011;38:1465-1474.

一方、1990年代よりスウェーデンで症例対照研究を実施し、携帯電話使用と脳腫瘍等との関連性を示唆してきた Örebro の研究グループは、2011年に、二つの研究の対象者をまとめたプール解析の結果を報告した。1997年～2003年に4地域で悪性の脳腫瘍（神経膠腫を含む）と診断された1251例と対照群2,438例に対して、携帯電話およびコードレス電話の使用に関する情報を収集し、解析した。その結果、一貫して有意なリスクの上昇が報告され、携帯電話使用者全体のオッズ比 1.3(1.1-1.5)、コードレス電話使用者全体のオッズ比 1.3(1.1-1.5)、ワイヤレス電話使用者全体のオッズ比 1.3(1.1-1.5)であった（いずれも、診断1年前までの使用を考慮）。もっとも高いリスクは、神経膠腫の中でもっとも多い星状細胞腫における10年前までの携帯電話使用との関連性で、携帯電話使用のオッズ比は、2.7(1.9-3.7)、コードレス電話は 1.8(1.2-2.9)であった。以上より、著者らは次のように結論している。

- In conclusion, an increased risk was found for glioma and use of mobile or cordless phone. The risk increased with latency time and cumulative use in hours and was highest in subjects with first use before the age of 20.

The INTERPHONE Study Group. Acoustic neuroma risk in relation to mobile telephone use: Results of the INTERPHONE international case - control study. *Cancer Epidemiol.* 2011;35(5):453-64.

聴神経鞘腫については、INTERPHONE 研究は、症例群 1105 例、対照群 2145 例を解析している。全体での解析では、腫瘍罹患 1 年前までの携帯電話使用あるいは 5 年前までの携帯電話使用のいずれもリスクの上昇は観察されなかった（オッズ比:0.85 (0.69 - 1.04)および 0.95 (0.77 - 1.17))が、腫瘍罹患 5 年前までの携帯電話累積使用時間数が 1640 時間を超える群でのみ、有意なオッズ比の上昇(2.79(1.51-5.16))が観察された。

ここまで述べた研究の結果について IARC の作業部会は、症例対照研究という疫学研究の方法論に基づく問題点として、携帯電話使用歴の思い出しや研究参加者の選定といった過程で発生するエラーのために、得られた結果がバイアス bias の影響を受けやすいことを挙げつつも、バイアスのみでは説明できないと判断し、高周波電磁界と神経膠腫との間に因果関係がある可能性があるとして評価している。また、聴神経鞘腫については、日本の佐藤らの研究も引用した上で、同様に、因果関係の可能性があるとしている。

Sato et al. A Case-case study of mobile phone use and acoustic neuroma risk in Japan. *Bioelectromagnetics* 2011;32:85-93.

日本の 22 病院の聴神経鞘腫 787 例を対象に、携帯電話の使用側と腫瘍位置との一致性の有無によってリスクを算出するケースケース解析を実施した（携帯電話使用の対側には電磁波が届かないことを利用して症例のみで解析を行い、携帯電話使用側と腫瘍側が一致する場合に電磁界ばく露ありとする）。全体での携帯電話使用のリスク比は、腫瘍が診断される 1 年前ま

での携帯電話使用を考慮した場合に 1.08 (95% CI, 0.93 -1.28)、5 年前までのみを考慮した場合は 1.14 (0.96-1.40)であった。さらに、一日あたりの使用時間で層別すると、一日 20 分以上の通話がある群のリスク比が、2.74(1 年前まで考慮)、3.08(5 年前まで考慮)と有意に上昇した。著者らは、症例群のみの解析であっても、病気の検出バイアス(detection bias)や携帯電話使用の思い出しバイアス(recall bias)によって説明される可能性があるものの、関連性ありの可能性も否定できないと考察している。

また IARC の作業部会は、髄膜腫、耳下腺腫瘍、白血病、リンパ腫やその他の腫瘍については関連性を示すような情報が十分にはなく、また高周波電磁界の職業ばく露の疫学研究についても、方法論上の限界などもあり、一致した結果は得られていないとしている。IARC による評価の詳細は、モノグラフ Vol.102 に記載されている。

International Agency for Research on Cancer. Non-Ionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Vol 102, 2013

1.5.2. 他の機関や研究者による評価

IARC による判断を巡っては、作業部会内でも必ずしも意見の一致をみなかったことが、Lancet Oncology の記事にも記載されている。これによると、作業部会の数人(a few members)は、ヒト(疫学)の現行のエビデンスは不十分(“inadequate”)と判断すべきであるとしており、その根拠として、関連があるとする二つの研究間にも矛盾があること、INTERPHONE 研究において(もっともヘビーユースの群のみリスクが上昇)ばく露量反応関係が認められないこと、デンマークのコホート研究で神経膠腫や聴神経鞘腫の罹患率上昇が観察されないこと、携帯電話に普及に伴うような神経膠腫の罹患率上昇が報告されていないことを挙げている。

IARC における疫学研究の確からしさの判断根拠は、以下の通りである
(<http://monographs.iarc.fr/ENG/Preamble/currentb6evalrationale0706.php>)。

Sufficient evidence of carcinogenicity. The Working Group considers that a causal relationship has been established between exposure to the agent and human cancer. That is, a positive relationship has been observed between the exposure and cancer in studies in which chance, bias and confounding could be ruled out with reasonable confidence. A statement that there is *sufficient evidence* is followed by a separate sentence that identifies the target organ(s) or tissue(s) where an increased risk of cancer was observed in humans. Identification of a specific target organ or tissue does not preclude the possibility that the agent may cause cancer at other sites.

Limited evidence of carcinogenicity. A positive association has been observed between exposure to the agent and cancer for which a causal interpretation is considered by the Working Group to be credible, but chance, bias or confounding could not be ruled out with reasonable confidence.

Inadequate evidence of carcinogenicity. The available studies are of insufficient quality, consistency or statistical power to permit a conclusion regarding the presence or absence of a causal association between exposure and cancer, or no data on cancer in humans are available.

国際的によく知られた非電離放射線防護に関する専門家組織として、国際非電離放射線防護委員会(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection、ICNIRP)がある。ICNIRPは、IARCの評価公表を受けて2011年3月に声明を出し、「IARCのモノグラフの出版を待つとともに、ICNIRPとしては高周波電磁界の健康影響に関するレビューを実施してきており、IARCを含むすべての情報を得て、ICNIRPガイドラインの改定を行う予定ある」とした。その後、Standing Committee on Epidemiologyのメンバー名のCommentaryが2011年のEnvironmental Health Perspective誌に掲載された。これは、ICNIRPのWebsiteでは、ICNIRP SCI Reviewとして位置づけられている(<http://www.icnirp.net/PubEMF.htm>)。

Swerdlow AJ, Feychting M, Green AC, Kheifets L, Savitz DA; International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection Standing Committee on Epidemiology. Mobile phones, brain tumors, and the Interphone Study: where are we now? Environ Health Perspect. 2011;119:1534-8.

二人のINTERPHONE研究グループメンバーが含まれる本Commentaryでは、大部分をINTERPHONE研究の結果の解釈を巡る議論に充てている。解釈の鍵となる解析結果として、携帯電話使用者の神経膠腫、髄膜腫のリスクが有意に低下していること、累積使用時間数の増加に伴う神経膠腫(髄膜腫でも)リスクの上昇が観察されないこと、累積コール数や使用年数では関連が観察されないこと、を挙げている。

そして、こうした点を説明する研究方法論上の問題点として、質問票が電子情報のみであること、各国間での参加率のばらつき、Non-responseバイアス、前駆症状のある者が使用しないことによるバイアス、ヘビーユーザー群での思い出しの信頼性(特に、症例群での長期記憶に関する正のバイアスとHardellらの研究の問題点の指摘)、腫瘍位置のばく露レベルを推定した研究(含、日本の研究成果)での関連性の欠如、といった点を挙げ考察を加えている。また、INTERPHONE以外の信頼するエビデンスについても検討し、INTERPHONEと同じインタビュー調査に基づく症例対照研究の限界の指摘した上で、職業ばく露あるいは居住環境ばく露の疫

学研究、携帯電話使用者データベースとがん登録データベースのリンケージ研究(症例対照・コホート)、脳腫瘍罹患率の時系列トレンド解析が重要であると指摘している。

その上で、結論として、次のように記載している。

Interphone is an impressively large study with multiple indices of exposure. However, it has some methodological deficits, largely inevitable in recall-based case-control studies, which limit interpretation of its findings. Such evidence as it provides, combined with the results of biological and animal studies, other epidemiologic studies, and brain tumor incidence trends, suggest that within the first 10-15 years after first mobile phone use there is unlikely to be a material increase in risk of adult brain tumors resulting from mobile phone use. At present there are no data on risk of childhood tumors.

The deficiencies of exposure measurement, because of recall misclassification in studies such as Interphone, and because of misidentification of users in records-based studies such as the published cohorts, leave it doubtful that either study type could reliably detect a small effect, if one existed. Both for this reason and because research cannot in principle prove the complete absence of an effect but only place limits on its possible magnitude, there is bound to remain some uncertainty for many years to come. The limited duration of data yet available, which is mainly for up to 10 years of exposure and to a lesser extent for a few years beyond this, also leave uncertainty because of the potential for long lag period effects, especially for meningioma, which is generally slower growing than glioma. The possibility of a small or a longer-term effect thus cannot be ruled out. Nevertheless, although one cannot be certain, the trend in the accumulating evidence is increasingly against the hypothesis that mobile phone use causes brain tumors.

過去の携帯電話使用を思い出しによって調査することがバイアス(腫瘍群ほど、使用時間等を過大に報告する、等)として結果を歪める可能性が高いことは、この Commentary を含め、常に指摘がなされている。この点については、INTERPHONE 研究から 3 つの研究結果が報告されている(J Expo Sci Environ Epidemiol. 2006;16(4):371-84. 、Occup Environ Med. 2006; 63(4): 237-243. 、J Expo Sci Environ Epidemiol. 2009;19(4):369-81.)。そのうちの一つをここに紹介する。

Vrijheid M, et al. Recall bias in the assessment of exposure to mobile phones. J Expo Sci Environ Epidemiol. 2009;19(4):369-81.

この研究では、INTERPHONE 研究の 6 センターの症例 212、対照 296 のインタビューと通信記録を比較(5 センターは、in/out 両方が通信記録に含まれる)し、自己申告の通話時間 or 回数と記録された時間 or 回数の比を算出した。その結果、下表(論文中の表 6)のように、症例群で

のみ、使用年数に比例して比の上昇が観察された。このことは、症例群の長期使用者ほど過大に通話時間を申告することを示しており、結果を過大に評価させるバイアスとして働いていると考えられる。

years	Cases			Controls			P for case/control
	N	ratio	95%CI	N	ratio	95%CI	
≤1	191	1.35	1.12-1.62	249	1.42	1.21-1.67	0.66
1-2	167	1.47	1.20-1.80	258	1.41	1.21-1.65	0.81
2-3	108	1.79	1.37-2.34	197	1.36	1.14-1.63	0.07
3-4	56	2.05	1.36-3.08	107	1.44	1.11-1.87	0.11
>4	36	2.16	1.30-3.61	57	1.57	1.18-2.08	0.21
trend P<0.001				trend P=0.60			

また、一連の疫学研究の結果が一致していないことから、研究の heterogeneity について検討した報告もある。

Susanna Lagorio, Martin Roosli. Mobile Phone Use and Risk of Intracranial Tumors: A consistency analysis. *Bioelectromagnetics* 35:79-90 (2014)

2012 年までに出版された頭蓋内腫瘍と携帯電話使用の疫学研究のメタ解析を、22 論文の 47 の結果(神経膠腫 17、髄膜腫 15、聴神経鞘腫 15)を用いて行った。その結果、5 つの組み合わせでそれぞれ計算した 10 年以上使用の統合相対危険度は、神経膠腫 1.19 ~1.40、髄膜腫 0.98~1.11、聴神経鞘腫 1.14~1.33 で、神経膠腫と聴神経鞘腫には、高い heterogeneity が認められ、その heterogeneity は、“study group”(US、Finnish、Örebro、INTERPHONE-国別、INTERPHONE-全体、Danish cohort)によって説明されたと報告している。

1.5.3. IARC 評価以降の研究

IARC 評価(2011 年)以降で、携帯電話使用と頭頸部腫瘍の疫学研究文献について、次のように文献検索を行った。

検索データベース: PubMed

検索キーワード

- ✓ “case-control” or “cohort” or “prospective”
- ✓ “cancer” or “brain tumor”
- ✓ “mobile phone” or “cell phone”

検索期間:2011 年以降(2014 年 7 月 5 日まで)

言語:English・Japanese

その結果、次のような文献がヒットした。

- 総説(レビュー) 5 編
- 原著 19 編
 - Sweden、Örebro group による脳腫瘍・シュワン細胞腫の症例対照研究 7 編
 - 他のグループによる脳腫瘍・シュワン細胞腫の症例対照研究 3 編
 - 脳腫瘍・他のがんの前向き研究 7 編
 - 小児の脳腫瘍・他のがんの症例対照研究 2 編
- 意見、コメント

文献リストを示す。

(総説)

1. Lagorio S, Röösli M. Mobile phone use and risk of intracranial tumors: a consistency analysis. *Bioelectromagnetics*. 2014 Feb;35(2):79–90.
2. Mornet E, Kania R, Sauvaget E, Herman P, Tran Ba Huy P. Vestibular schwannoma and cell-phones. Results, limits and perspectives of clinical studies. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis*. 2013 Nov;130(5):275–82.
3. Yamaguchi N. [The IARC carcinogenicity evaluation of radio-frequency electromagnetic field: with special reference to epidemiology of mobile phone use and brain tumor risk]. *Nihon Eiseigaku Zasshi*. 2013;68(2):78–82. Japanese.
4. Söderqvist F, Carlberg M, Hardell L. Review of four publications on the Danish cohort study on mobile phone subscribers and risk of brain tumors. *Rev Environ Health*. 2012;27(1):51–8.
5. Repacholi MH, Lerchl A, Röösli M, Sienkiewicz Z, Auvinen A, Breckenkamp J, d’Inzeo G, Elliott P, Frei P, Heinrich S, Lagroye I, Lahkola A, McCormick DL, Thomas S, Vecchia P. Systematic review of wireless phone use and brain cancer and other head tumors. *Bioelectromagnetics*. 2012 Apr;33(3):187–206.

原著

(脳腫瘍・シュワン細胞腫。症例対照:Orebro group)

1. Hardell L, Carlberg M, Söderqvist F, Mild KH. Case-control study of the association between malignant brain tumours diagnosed between 2007 and 2009 and mobile and cordless phone use. *Int J Oncol*. 2013 Dec;43(6):1833–45.
2. Hardell L, Carlberg M, Söderqvist F, Mild KH. Pooled analysis of case-control studies on

acoustic neuroma diagnosed 1997–2003 and 2007–2009 and use of mobile and cordless phones. *Int J Oncol.* 2013 Oct;43(4):1036–44.

3. Carlberg M, Söderqvist F, Hansson Mild K, Hardell L. Meningioma patients diagnosed 2007–2009 and the association with use of mobile and cordless phones: a case–control study. *Environ Health.* 2013 Jul 19;12(1):60.
4. Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. Use of mobile phones and cordless phones is associated with increased risk for glioma and acoustic neuroma. *Pathophysiology.* 2013 Apr;20(2):85–110.
5. Hardell L, Carlberg M. Use of mobile and cordless phones and survival of patients with glioma. *Neuroepidemiology.* 2013;40(2):101–8.
6. Carlberg M, Hardell L. On the association between glioma, wireless phones, heredity and ionising radiation. *Pathophysiology.* 2012 Sep;19(4):243–52.
7. Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. Re-analysis of risk for glioma in relation to mobile telephone use: comparison with the results of the Interphone international case-control study. *Int J Epidemiol.* 2011 Aug;40(4):1126–8.

(脳腫瘍・シュワン細胞腫。症例対照：他グループ)

1. Coureau G, Bouvier G, Lebailly P, Fabbro-Peray P, Gruber A, Leffondre K, Guillamo JS, Loiseau H, Mathoulin-Pélissier S, Salamon R, Baldi I. Mobile phone use and brain tumours in the CERENAT case-control study. *Occup Environ Med.* 2014
2. Pettersson D, Mathiesen T, Prochazka M, Bergenheim T, Florentzson R, Harder H, Nyberg G, Siesjö P, Feychting M. Long-term mobile phone use and acoustic neuroma risk. *Epidemiology.* 2014 Mar;25(2):233–41.
3. Moon IS, Kim BG, Kim J, Lee JD, Lee WS. Association between vestibular schwannomas and mobile phone use. *Tumour Biol.* 2014 Jan;35(1):581–7.

(前向き研究；脳腫瘍、がん)

1. Benson VS, Pirie K, Schüz J, Reeves GK, Beral V, Green J; Million Women Study Collaborators. Mobile phone use and risk of brain neoplasms and other cancers: prospective study. *Int J Epidemiol.* 2013 Jun;42(3):792–802.

De Vocht F. The case of acoustic neuroma: comment on: mobile phone use and risk of brain neoplasms and other cancers. *Int J Epidemiol.* 2014 Feb;43(1):273–4.

Benson VS, Pirie K, Schüz J, Reeves GK, Beral V, Green J. Authors' response to: the

case of acoustic neuroma: comment on mobile phone use and risk of brain neoplasms and other cancers. *Int J Epidemiol.* 2014 Feb;43(1):275.

2. Hsu MH, Syed-Abdul S, Scholl J, Jian WS, Lee P, Iqbal U, Li YC. The incidence rate and mortality of malignant brain tumors after 10 years of intensive cell phone use in Taiwan. *Eur J Cancer Prev.* 2013 Nov;22(6):596-8.
3. Barchana M, Margaliot M, Liphshitz I. Changes in brain glioma incidence and laterality correlates with use of mobile phones--a nationwide population based study in Israel. *Asian Pac J Cancer Prev.* 2012;13(11):5857-63.
4. Little MP, Rajaraman P, Curtis RE, Devesa SS, Inskip PD, Check DP, Linet MS. Mobile phone use and glioma risk: comparison of epidemiological study results with incidence trends in the United States. *BMJ.* 2012 Mar 8;344:e1147.
5. Davis DL, Miller AB, Philips A. Association of mobile phone use with adult brain cancer remains plausible. *BMJ.* 2012 May 1;344:e3083
6. Kundi M. Study of mobile phone use and glioma risk was fatally flawed. *BMJ.* 2012 May 1;344:e3078; author reply e3088.
7. Deltour I, Auvinen A, Feychting M, Johansen C, Klæboe L, Sankila R, Schüz J. Mobile phone use and incidence of glioma in the Nordic countries 1979-2008: consistency check. *Epidemiology.* 2012 Mar;23(2):301-7.
8. Frei P, Poulsen AH, Johansen C, Olsen JH, Steding-Jessen M, Schüz J. Use of mobile phones and risk of brain tumours: update of Danish cohort study. *BMJ.* 2011 Oct 19;343:d6387.
9. Schüz J, Steding-Jessen M, Hansen S, Stangerup SE, Cayé-Thomasen P, Poulsen AH, Olsen JH, Johansen C. Long-term mobile phone use and the risk of vestibular schwannoma: a Danish nationwide cohort study. *Am J Epidemiol.* 2011 Aug 15;174(4):416-22.

(小児。脳腫瘍、がん)

1. Li CY, Liu CC, Chang YH, Chou LP, Ko MC. A population-based case-control study of radiofrequency exposure in relation to childhood neoplasm. *Sci Total Environ.* 2012 Oct 1;435-436:472-8.
2. Aydin D, Feychting M, Schüz J, Tynes T, Andersen TV, Schmidt LS, Poulsen AH, Johansen C, Prochazka M, Lannering B, Klæboe L, Eggen T, Jenni D, Grotzer M, Von der Weid N, Kuehni CE, Röösl M. Mobile phone use and brain tumors in children and adolescents: a multicenter case-control study. *J Natl Cancer Inst.* 2011 Aug 17;103(16):1264-76.

3. Aydin D, Feychting M, Schüz J, Rösli M; CEFALO study team. Childhood brain tumours and use of mobile phones: comparison of a case-control study with incidence data. *Environ Health*. 2012 May 20;11:35.
4. Milham S. Re: Mobile phone use and brain tumors in children and adolescents. *J Natl Cancer Inst*. 2012 Apr 18;104(8):635; author reply 635.
5. Morgan LL, Herberman RB, Philips A, Lee Davis D. Re: Mobile phone use and brain tumors in children and adolescents: a multicenter case-control study. *J Natl Cancer Inst*. 2012 Apr 18;104(8):635-7; author reply 637-8.
6. Söderqvist F, Carlberg M, Hansson Mild K, Hardell L. Childhood brain tumour risk and its association with wireless phones: a commentary. *Environ Health*. 2011 Dec 19;10:106.
7. Boice JD Jr, Tarone RE. Cell phones, cancer, and children. *J Natl Cancer Inst*. 2011 Aug 17;103(16):1211-3.
8. Elliott P, Toledano MB, Bennett J, Beale L, de Hoogh K, Best N, Briggs DJ. Mobile phone base stations and early childhood cancers: case-control study. *BMJ*. 2010 Jun 22;340:c3077.

(その他の疾患)

1. de Souza FT, Correia-Silva JF, Ferreira EF, Siqueira EC, Duarte AP, Gomez MV, Gomez RS, Gomes CC. Cell phone use and parotid salivary gland alterations: no molecular evidence. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*. 2014 Jul;23(7):1428-31.
2. Poulsen AH, Friis S, Johansen C, Jensen A, Frei P, Kjaear SK, Dalton SO, Schüz J. Mobile phone use and the risk of skin cancer: a nationwide cohort study in Denmark. *Am J Epidemiol*. 2013 Jul 15;178(2):190-7.
3. Bhargava S, Motwani MB, Patni VM. Effect of handheld mobile phone use on parotid gland salivary flow rate and volume. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2012 Aug;114(2):200-6.
4. Söderqvist F, Carlberg M, Hardell L. Use of wireless phones and the risk of salivary gland tumours: a case-control study. *Eur J Cancer Prev*. 2012 Nov;21(6):576-9.
5. Frei P, Mohler E, Braun-Fahrländer C, Fröhlich J, Neubauer G, Rösli M; QUALIFEX-team. Cohort study on the effects of everyday life radio frequency electromagnetic field exposure on non-specific symptoms and tinnitus. *Environ Int*. 2012 Jan;38(1):29-36.

(意見、コメント)

1. Davis DL, Kesari S, Soskolne CL, Miller AB, Stein Y. Swedish review strengthens grounds for concluding that radiation from cellular and cordless phones is a probable human

- carcinogen. *Pathophysiology*. 2013 Apr;20(2):123-9.
2. Ayanda OS, Baba AA, Ayanda OT. Use of mobile phones and cancer risk. *Asian Pac J Cancer Prev*. 2012;13(1):403-6.
 3. Hardell L, Carlberg M. Using the Hill viewpoints from 1965 for evaluating strengths of evidence of the risk for brain tumors associated with use of mobile and cordless phones. *Rev Environ Health*. 2013;28(2-3):97-106.
 4. Gadit AM. Cell phone and brain: how do they interact? *J Pak Med Assoc*. 2011 Dec;61(12):1249-50.
 5. Swerdlow AJ, Feychting M, Green AC, Leeka Kheifets LK, Savitz DA; International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection Standing Committee on Epidemiology. Mobile phones, brain tumors, and the interphone study: where are we now? *Environ Health Perspect*. 2011 Nov;119(11):1534-8.
 6. Philips A, Lamburn G. Updated study contains poor science and should be disregarded. *BMJ*. 2011 Dec 6;343:d7899; author reply d7912.
 7. Khurana VG. Questions about selection, exposure, and tumour incidence. *BMJ*. 2011 Dec 6;343:d7893; author reply d7912.
 8. Ahlbom A, Feychting M. Mobile telephones and brain tumours. *BMJ*. 2011 Oct 19;343:d6605.
 9. Peres J. WHO classification sparks debate over cell phone safety. *J Natl Cancer Inst*. 2011 Aug 3;103(15):1146-7. doi: 10.1093/jnci/djr295.

おもな研究結果について整理する。

症例対照研究

Hardell L, Carlberg M, Söderqvist F, Mild KH. Case-control study of the association between malignant brain tumours diagnosed between 2007 and 2009 and mobile and cordless phone use. *Int J Oncol*. 2013;43(6):1833-45.

スウェーデンで2007-2009年に新たに診断された悪性脳腫瘍症例1334例から死亡例520等を除外した683例のうち593例に電話インタビューを行った。対照1368例は、population registryから性・年齢をマッチ(参加率85%)している。ばく露をアナログ、デジタル(2G、3G)、コードレス等に分類して解析したところ、累積使用時間の増加(四分位)に沿って、著明なリスクの上昇が、いずれの電話タイプでも観察された。著者らは、This study confirmed previous results of an association between mobile and cordless phone use and malignant brain tumours.と結論している。

Table VI. Malignant brain tumours (n=593).

Quartile	Analogue			Digital (2G)			Digital (UMTS, 3G)			Mobile phone, total			Cordless phone			Digital type			Wireless phone		
	OR	CI	Ca/Co	OR	CI	Ca/Co	OR	CI	Ca/Co	OR	CI	Ca/Co	OR	CI	Ca/Co	OR	CI	Ca/Co	OR	CI	Ca/Co
First	1.7	0.9-3.0	90/184	1.4	0.8-2.3	202/620	1.1	0.5-2.4	35/87	1.4	0.8-2.3	190/587	1.3	0.8-2.2	164/434	1.5	0.9-2.5	113/327	1.5	0.9-2.5	108/317
Second	1.6	0.8-3.4	22/47	1.9	1.1-3.3	138/260	1.0	0.4-2.6	16/34	1.7	1.02-3.0	126/261	1.7	1.01-3.0	120/278	1.4	0.8-2.4	113/320	1.4	0.8-2.4	110/314
Third	2.6	1.2-6.0	18/23	1.4	0.8-2.5	84/199	1.7	0.6-4.8	11/17	1.5	0.9-2.7	95/210	2.1	1.2-3.7	98/194	1.7	1.01-2.9	139/317	1.7	1.003-2.9	137/315
Fourth	7.7	2.5-24	14/6	3.2	1.8-5.6	122/129	5.1	0.8-32	5/2	2.8	1.6-4.8	137/159	3.1	1.8-5.5	79/109	2.6	1.5-4.3	206/297	2.5	1.5-4.2	216/315

Odds ratio (OR) and 95% confidence interval (CI) for cumulative use of wireless phones in quartiles based on use of wireless phones among controls in total. Adjustment was made for age at diagnosis, gender, SEI-code and year of diagnosis. Population based controls were used. First quartile >39-405 h; second quartile 406-1091 h; third quartile 1092-2,376 h; fourth quartile >2,376 h. p-trend (Wald's test): analogue, p=0.01; digital (2G), p<0.0001; digital (UMTS, 3G), p=0.28; mobile phone, total, p<0.0001; cordless phone, p<0.0001; digital type, p<0.0001; wireless phone, p<0.0001.

(Int J Oncol. 2013;43(6):1833-45.の Table VI より転載)

Hardell L, Carlberg M, Söderqvist F, Mild KH. Pooled analysis of case-control studies on acoustic neuroma diagnosed 1997-2003 and 2007-2009 and use of mobile and cordless phones. Int J Oncol. 2013;43(4):1036-44

スウェーデンで、1997-2003年に一部地域で診断された聴神経鞘腫症例(年齢 20-80歳)と2007-09年に全国で診断された聴神経鞘腫症例(18-75歳)を合わせた316例(93%)、および性、年齢、地域をマッチした対照3530例(87%)をpopulation registryから選定し、ばく露情報は電話インタビューで入手した。同じように、アナログ、デジタル(2G、3G)、コードレス等に分類して解析したところ、いずれの解析でも著明なリスクの上昇が観察されたという(Digital (UMTS,3G)を除く)。

Table II. Odds ratio (OR) and 95% confidence interval (CI) for acoustic neuroma, total, ipsilateral and contralateral exposure.^a

	All			Ipsilateral			Contralateral		
	Ca/Co	OR	95% CI	Ca/Co	OR	95% CI	Ca/Co	OR	95% CI
Analogue	86/558	2.9	2.0-4.3	54/252	2.9	1.9-4.6	29/184	2.5	1.4-4.2
Digital (2G)	173/2,014	1.5	1.1-2.1	108/865	1.7	1.1-2.4	62/684	1.3	0.9-2.1
Digital (UMTS, 3G)	7/141	3.9	0.4-35	3/70	1.9	0.2-20	3/45	3.6	0.3-38
Mobile phone, total	200/2,148	1.6	1.2-2.2	123/920	1.8	1.3-2.6	73/729	1.5	0.98-2.2
Cordless phone	156/1,724	1.5	1.1-2.1	101/766	1.8	1.2-2.6	52/565	1.2	0.7-1.8

^aNumbers of exposed cases (Ca) and controls (Co) are displayed. Adjustment was made for age at diagnosis, gender, SEI-code and year of diagnosis. Ipsilateral, ≥50% use of the phone on the same side as the tumour was located. Contralateral, <50% use of the phone on the same side as the tumour was located.

Int J Oncol. 2013;43(4):1036-44の Table II を転載。

Pettersson D, Mathiesen T, Prochazka M, Bergenheim T, Florentzson R, Harder H, Nyberg G, Siesjö P, Feychting M. Long-term mobile phone use and acoustic neuroma risk. Epidemiology. 2014;25(2):233-41.

2002~07年にスウェーデン全国で新たに診断された聴神経鞘腫(20-69歳)451例(83%)と、population registryから性、年齢、地域をマッチして選んだ対照1095例(65%)を対象に、郵送質問票により情報を収集して解析した。また、Non-responder調査も実施している。その結果、携帯使用者のオッズ比は1.18(95%CI 0.88-1.59)、10年超使用で1.11(0.76-1.61)、腫瘍と同側性使用では0.98(0.68-1.43)、ヘビーユーザー(≥680h)で1.46(0.98-2.17)であった。また、組織学的診断あり症例のみの解析では、すべてのORが1に近づき、ヘビーユーザーでは1.14(0.63-2.07)となった。コードレス電話でも同様の結果であり、聴力損失など聴神経鞘腫による症

状に起因する携帯使用側の変更を考慮した解析では、対側使用のリスクが上昇し、著明なバイアスの可能性が示唆されたという。以上より著者らは、The findings do not support the hypothesis that long-term mobile phone use increases the risk of acoustic neuroma. The study suggests that phone use might increase the likelihood that an acoustic neuroma case is detected and that there could be bias in the laterality analyses performed in previous studies. と結論している。

Coureau G, Bouvier G, Lebailly P, Fabbro-Peray P, Gruber A, Leffondre K, Guillamo JS, Loiseau H, Mathoulin-Pélissier S, Salamon R, Baldi I. Mobile phone use and brain tumours in the CERENAT case-control study. *Occup Environ Med.* 2014; ;71:514-522.

フランス 4 地域での携帯電話使用と成人(16 歳+)の神経膠腫 253 例、髄膜腫 194 例の症例対照研究(2004-06)であり、対照は選挙人名簿から性・年齢をマッチした 892 例で、参加率は症例 73%、対照 45%であった。携帯電話使用は、インタビューで収集した。携帯電話使用者と非使用者全体の比較では、神経膠腫のオッズ比 1.24(95% CI 0.86-1.77)、髄膜腫で 0.90(0.61-1.34)、推定生涯使用時間を用いたヘビーユーザー(≥896h)では、神経膠腫 2.89(1.41-5.93)、髄膜腫 2.57(1.02 -6.44)、推定生涯コール数を用いたヘビーユーザー(≥18360)では、神経膠腫 2.10(1.03-4.31)、髄膜腫 1.73(0.64-4.63)であった。著者らは、These additional data support previous findings concerning a possible association between heavy mobile phone use and brain tumours.と結論している。

コホート研究

Frei P, et al. Use of mobile phones and risk of brain tumours: update of Danish cohort study. *BMJ.* 2011 ;343:d6387.

Schüz J, et al. Long-term mobile phone use and the risk of vestibular schwannoma: a Danish nationwide cohort study. *Am J Epidemiol.* 2011 ;174:416-22.

デンマークの住民登録をベースに、1925 年生まれ以降で 30 歳以上の国民全員を対象として、1982-95 年の携帯電話利用のデータベースとリンケージして追跡し、国民がん登録データとマッチしてがん罹患を把握している。社会経済因子を含む要因も把握し、log linear Poisson 回帰モデルで、年齢、暦年、教育、収入を調整してリスクを推計した。追跡期間 1990-2007 年、358403 人の携帯電話利用者、計 380 万人年から、10729 例の中枢神経系腫瘍が発生した。携帯使用による罹患リスクは、男女ともほぼ 1.0 であった。また、13 年以上の携帯利用者に限定した解析では、罹患率比は、男性 1.03(95%CI:0.83-1.27)、女性 0.91(0.41-2.04)であった。腫瘍の種類ごとでは、神経膠腫は、10 年以上使用の罹患率比が 男性 1.04 (0.85-1.26)、女性 1.04(0.56-1.95)、髄膜腫は、それぞれ、0.90(0.57-1.42)、0.93(0.46-1.87)で、使用年数や腫瘍の位置による関連性は認めなかったという。聴神経鞘腫では、11 年以上と未満使用の罹患率

比が男性 0.87(0.52-1.46)であった(女性は 11 年以上使用の腫瘍発生なし、期待値 1.6)。

Deltour I, Auvinen A, Feychting M, Johansen C, Klæboe L, Sankila R, Schüz J. Mobile phone use and incidence of glioma in the Nordic countries 1979-2008: consistency check. *Epidemiology*. 2012; 23:301-7.

デンマーク、フィンランド、ノルウェー、スウェーデンで 1979 年～2008 年に原発性の神経膠腫と診断された症例数(年齢 20-79 歳)を、各国のがん登録データベースから入手し、男女別に、10 万人年あたりの年平均年齢調整罹患率を計算した。35250 例が期間中に診断され、年平均の神経膠腫の数は、1700 万人に対して 1175(年齢 20-79)となり、そのうちスウェーデンが約 40%、他の国は各 20%程度であったという。年齢調整罹患率(10 万人年あたり)は、男性 8.6、女性 6.0 であった。罹患率は年齢とともに上昇するが、著明な時系列変化は認められず、高齢層で緩やかな増加、若い層では反対に 1980 年代後半以降減少傾向が観察される(フィンランドとノルウェーは減少なし)結果であった。

Benson VS, Million Women Study Collaborators. Mobile phone use and risk of brain neoplasms and other cancers: prospective study. *Int J Epidemiol*. 2013;42:792-802.

Benson VS, et al. Authors' response to: the case of acoustic neuroma: comment on mobile phone use and risk of brain neoplasms and other cancers. *Int J Epidemiol*. 2014;43:275.

英国で、1996-2001 年に 130 万人の中年女性をリクルートして実施された乳がん検診プログラム Millions Women study(前向きコホート研究)の参加者のうち、791710 人を対象とし、1999 年と 2005 年に、携帯電話使用の有無について質問し、Cox 回帰分析を実施した。7 年間の追跡期間中に、51680 例の(invasive)がん罹患、1261 例の頭蓋内中枢神経腫瘍罹患があったという。携帯電話使用の有無による比較で、頭蓋内中枢神経腫瘍罹患のリスクは、相対危険度 1.01(95%CI 0.90-1.14)であり、腫瘍の種類や位置別でも、リスクの上昇はなかった。10 年以上使用のリスクは、神経膠腫 0.78(0.55-1.10)、髄膜腫 1.10(0.66-1.84)であった。聴神経鞘腫については、この段階での解析では、10 年以上使用の相対危険度が 2.46(.07-5.64, P=0.03)であったが、その後の期間を延長した解析で、1.17(0.60-2.27)であったという。

小児での疫学研究

Aydin D, Feychting M, Schüz J, Tynes T, Andersen TV, Schmidt LS, Poulsen AH, Johansen C, Prochazka M, Lannering B, Klæboe L, Eggen T, Jenni D, Grotzer M, Von der Weid N, Kuehni CE, Rösli M. Mobile phone use and brain tumors in children and adolescents: a multicenter case-control study. *J Natl Cancer Inst*. 2011;103:1264-76.

デンマーク、スウェーデン、ノルウェー、スイスで実施された症例対照研究(CEFALO 研究)で、2004-08 年に脳腫瘍と診断された 7-19 歳の小児と青年が対象に実施され、352 症例(参加率

83%)と 646 対照(71%)とその両親にインタビューを行った。症例は、がん登録データベースと臨床医からの報告、対照は、population registries から年齢・性・地域をマッチして選定している。携帯電話使用のオッズ比は 1.36(95%CI 0.92-2.02)で、少なくとも 5 年以上使用していても、非使用者と比較したリスク上昇はなかった(オッズ比 1.26, 95% CI 0.70-2.28)。事業者の記録を得られた者での解析では、使用期間、累積コール時間、コール数との関連は認められなかったが、契約期間がもっとも長い群でのオッズ比の有意な増加があったという。著者らは、結論として、The absence of an exposure-response relationship either in terms of the amount of mobile phone use or by localization of the brain tumor argues against a causal association.と述べている。

1.6. ドシメトリ 【平田構成員】

外部電磁界により、体内に誘導される物理量を評価することをドシメトリという。生体が電磁界にさらされた際、非侵襲に体内誘導量を測定することはできないため、数値解析が頻用されている。一方で、人体のモデル化および電気的特性のモデル化は、実測に基づくものである。

1.6.1. ドシメトリに関わる人体のモデル化について

人体は多数の異なる組織／器官から構成されており、それらの電気的特性は異なる。2000年代中ごろより、医用画像(磁気共鳴画像など)により得られた情報に基づき、形状および組織構成を考慮したモデル化構成されてきた。しかしながら、ICNIRP[1]が述べるような人口に対する90%を対象とした場合、複数のモデルを構築することが必要となる。例えば、スイス IT'IS 財団では、異なる年齢、性別の被験者のモデル化を実施、配布している[2]。しかしながら、これらのモデルの難点としては、人体は種差、性差、年齢差等の個体差が大きく、数体のモデルによる、ばらつき調査は不十分であった。近年では、標準的なモデルから個人のモデルを生成する技術の研究も進んでおり、ばらつき評価に利用可能である[3][4]。また、情報通信研究機構では、加齢に伴う変化を追跡できる人体モデルを開発している[5]。

開発した人体モデルに、測定より得られた組織ごとの電気定数を付与する必要がある。これまで、1996年に発表された Gabriel らによる報告がデファクトスタンダードとして用いられてきた[6]。しかしながら、20GHz以上の周波帯および中間周波帯では報告例、対象とした組織数も限定的である。情報通信研究機構では、最新の測定技術を用い、多くの組織を対象とした測定を実施しており[7]、実測に基づく周波数を関数としたパラメトリックモデルの開発が期待される(純水について、例えば[8])。これら一連のモデル化技術のさらなる開発により、より確度の高いドシメトリの実施が期待される。

1.6.2. ドシメトリに関わる数値解析手法について

マイクロ波においては、多くの電磁ドシメトリ技が開発されており、また、商用ソフトウェアも販売されるように至っている。但し、これまでの検討例の多くは、概ね3GHz以下であるが、高い周波数帯では人体モデルの分解能が多く必要とされるため、解析技術の改良などが必要となるであろう。また、携帯電話など局所ばく露については吸収電力に伴う温度上昇解析がなされ、ガイドラインあるいは規格に反映されている。一方、全身ばく露に対する体内深部温度上昇についての検討例は多くはない[11][12]。特に、温度上昇に関する報告例については、電磁ドシメトリと異なり、ばらつきの評価はあまり実施されていない。これは、熱定数の実測例が多くないことが一因であり、特に、加齢の影響など、熱調整機能の個人差に関する検討例は限定的である[11]。

中間周波数帯においては、どのような数値解析技術を利用すればよいのかの議論も十分ではなかった。マイクロ波帯における解析技術を用いた場合、一般に周波数が低くなるにつれて

解析時間が増大するため、低周波側の解析手法の適用性に関する検討がなされている。具体的には、低周波側の解析手法を中間周波帯の局所ばく露、接触電流における適用周波数を検証した例[9][10]があるが、これらで報告されている上限周波数は異なるため、今後さらなる検討が求められる。

ミリ波帯あるいはそれ以上の周波数帯においては、人体の寸法が波長に比べて大きくなるため、数値電磁界解析では十分取り扱えない場合もある。そのため、解析的な基礎検討が多いものの[13]、近年では解析的扱いと数値的な取扱いを融合させることによる手法開発[14, 15]もなされ、今後、応用目的を考慮に入れた上で適切な手法を選択、必要に応じて改良し、取り組んでいく必要がある。

1.6.3. 国際ガイドライン策定におけるドシメトリの貢献

中間周波数帯におけるドシメトリ評価例がなされるようになってきたものの多くはない。接触電流に関しては、参考レベルと基本制限の評価がなされており[6]、個体差も含めたばらつきを検討がなされている。一方、指先への知覚と温感の再検証もなされており[16]、生体反応の閾値とドシメトリによる体系化が望まれる。また、中間周波帯における基準値は、低周波帯からの外挿による部分も多く、電流刺激に対する神経活性化モデル(例えば、ホジキン・ハックスレーのモデル)などとの連携がなされ始めており[17]、更なる理解が期待される。

無線周波においては、特に、全身ばく露に対する参考レベルと基本制限の関係評価が多数なされ[18, 19, 20]、現在も周波数帯を拡張しながら継続されている[21]。我が国の研究[19, 20]も ICNIRP による声明[22]に引用されるなど、両者の関係は概ね矛盾がないことが示唆されている。また、全身平均 SAR の指標有効性に関しては、体内深部温度上昇との関連を示すことが重要であり、そのような検討もなされるようになっている[11]。局所ばく露については、IEEE 規格の 2006 年の改定において、詳細な人体モデルを用いた数値ドシメトリの結果が用いられるようになっている。その後も、WHO による RF Research Agenda[23]などでもドシメトリの項目が示され、2010 年の RF Research Agenda ではこれまでの成果として、局所ばく露に対する熱ドシメトリの成果とし、局所 SAR と温度上昇の相関がよいことを取り上げ、現在のガイドラインのける局所 SAR の平均化質量の妥当性を述べている(6GHz まで) [24]。

1.6.4. 健康リスク評価におけるドシメトリの役割

電磁界の健康リスク評価のために多くの医学・生物学実験が行われている。信頼性の高い結果を得るには、ドシメトリによるばく露評価、あるいはばく露装置の設計は必要不可欠である。近年、携帯電話と脳腫瘍の関係を調べるための国際共同疫学研究 (INTERPHONE STUDY) が実施された[25]。この疫学研究のためのばく露評価においては、これまでしばしば行われた脳腫瘍の発生側と携帯電話の使用側の一致性についての検討だけでなく、携帯電話使用時の頭部内 SAR 分布のドシメトリ結果を用いた脳腫瘍位置でのばく露量がパラメータとして利用

された[26, 27, 28, 29]。また、小児における携帯電話と脳腫瘍に関する疫学研究においては、成人と小児頭部による SAR 分布の比較や近年の端末の構造変化に伴う SAR 分布への影響評価が実施されている[30]。ヒトボランティアに対する短期ばく露の影響評価として、感受性、脳の認知機能への影響、睡眠等への影響などが調べられている。このような研究に対しては、実験に用いた携帯電話端末を詳細に模擬したドシメトリが実施されている[31, 32]。前述のように、接触電流を想定した電流知覚閾値特性を調べる研究も実施されており、神経興奮現象に関連させたドシメトリが行われている[16]。動物実験においては、各実験に対する詳細なドシメトリが実施されている。例えば、脳表のばく露と血流変化に関する研究に対しては、実験に使用した 8 の字ループアンテナにより生じる SAR 分布や温度分布に関する詳細なドシメトリが実施されている[33, 34]。

また、WHO の優先的研究課題としても取り上げられている妊娠期や幼若期における全身ばく露の影響を多世代に渡って調べる実験や無線通信で利用される複数周波の混合ばく露実験も行われており、そのためのドシメトリとして、妊娠ラットおよび幼若ラットでの詳細なドシメトリがラットの位置情報を考慮したばく露期間中における統計的なドシメトリが実施されている[35,36]。特に近年では、反射箱を用いた大規模な動物実験が行われている。反射箱内に配置された実験動物内のドシメトリとしては、左右前後上下といった複数方向からの平面波の重ね合わせと仮定して行う方法[37, 38, 39]や、FDTD 法とモーメント法の混成手法を用いて反射箱内の攪拌用の羽の回転や装置への実験動物からの反射を考慮した解析が行われている[40]。さらには両方法の比較も実施されている[41,42]また、家兎眼を用いた影響評価においては、眼の微細な構造を模擬したモデルの開発およびドシメトリが実施されている[14]。細胞実験においては、近年、ミリ波帯やテラヘルツ波帯の生体影響評価実験が進められており、そのためのばく露装置開発および細胞でのばく露評価が行われている[15,43,44]。

1.6.5. 新規技術におけるドシメトリ役割

次世代無線通信では、6GHz 以上の周波数帯が利用されることが想定されている。しかしながら、評価指標として局所 SAR が適用可能な上限周波数は国際ガイドライン間で異なる(総務省 6GHz、ICNIRP 10GHz、IEEE 6GHz)。6GHz 以上においては、人体は波長に比べて大きくなるため、いかに現実的な電磁界をモデル化し、かつ効率的にばく露評価を行うかが課題である。また、無線電力伝送などでの利用が検討されている中間周波数帯における外部磁界および体内誘導電界/SAR に関する基準値は、低周波帯における値を外装している部分もあり、再検証が求められる。なお、上記の新たな周波数帯において、ドシメトリ技術が十分確立されているとは言い難く、安心・安全な電波利用にはその確立は不可欠であろう。例えば、2014 年 9 月より、IEEE ICES 会議において、Subcommittee6 Dosimetry Modeling においては、中間周波数帯および 6GHz 以上の周波数帯におけるモデル化について課題として挙げている。

参考文献

- [1] ICNIRP, “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic field (1 Hz to 100 kHz),” *Health Phys.* **99** 818–36, 2010.
- [2] A. Christ et al, “The Virtual Family – development of surface – based on anatomical methods of two adults and two children for dosimetric simulations,” *Phys. Med. Biol.*, vol.55, pp.22–38, 2010.
- [3] W.P Segars, J. Bond, J. Frush, S. Hon and C. Echersley, “Population of anatomically variable 4D XCAT adult phantoms for imaging research and optimization,” *Med. Phys.*, Vol. 40, 043701, 2013.
- [4] T. Nagaoka and S. Watanabe, “Personalized Computational Models in Human Anatomy for Electromagnetic Dosimetry,” Proc. ISABEL’ 11, 2011
- [5] 長岡智明, 和氣加奈子, 多氣昌生, 渡辺聡一, “ボリウムモーフィング手法による日本人の標準頭部モデル開発,” 信学技報 EMCJ2014–15.
- [6] S. Gabriel, R. W. Lau, and C. Gabriel, “The dielectric properties of biological tissues: III. Parametric models for the dielectric spectrum of tissues,” *Phys. Med. Biol.*, vol. 41, p. 2271, 1996.
- [7] K. Sasaki, K. Wake, and S. Watanabe, “Development of best fit Cole-Cole parameters for measurement data from biological tissues and organs between 1 MHz and 20 GHz,” *Radio Sci.*, vol. 49, pp. 459–472, 2014.
- [8] W. J. Ellison, “Permittivity of pure water at standard atmospheric pressure, over the frequency range 0–25 THz and the temperature range 0–100 °C,” *J. Phys. Chem. Ref. Data*, vol. 36, pp. 1–18, 2007.
- [9] K.-H. Chan, J. Hattori, I. Laakso, A. Hirata, and M. Taki, “Computational dosimetry for grounded and ungrounded human models due to contact current,” *Phys. Med. Biol.*, vol.58, pp.5153–5172, 2013.
- [10] S. W. Park, K. Wake, and S. Watanabe, “Calculation errors of the electric field induced in a human body under quasi-static approximation conditions,” *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol.61, pp.2153–2160, 2013.
- [11] A. Hirata, T. Asano, and O. Fujiwara, “FDTD analysis of body-core temperature elevation in children and adults for whole-body exposure,” *Phys. Med. Biol.*, vol.53, pp.5223–5238, 2008.
- [12] D. A. Nelson, A. R. Curran, H. A. Nyberg, E. A. Marttila, P. A. Mason, J. M. Ziriak, “High-resolution simulations of the thermophysiological effects of human exposure to 100 MHz RF energy,” *Phys. Med. Biol.*, vol.58, no.6, pp.1947–1968, 2013.
- [13] A. Kanazaki, A. Hirata, S. Watanabe, and H. Shirai, “Parameter variation effects on temperature elevation in a steady state, 1 dimensional, thermal model for millimeter wave exposure of 1 and 3 layer human tissue,” *Phys. Med. Biol.*, vol.55, pp.4647–4659, 2010.
- [14] K. Sasaki, T. Sakai, K. Wake, S. Watanabe, M. Kijima, N. Hasanova, H. Sasaki, K. Sasaki, Y.

Suzuki, M. Taki, Y. Kamimura, A. Hirata, and H. Shirai, "Dosimetry Using a Localized Exposure System in the Millimeter-Wave Band for in vivo Studies on Ocular Effects", vol. 62, no. 7, pp. 1554–1564, 2014

[15] M. Zhadobov, R. Sauleau, Y. Le Drean, S. I. Alekseev, and M. Ziskin, "Numerical and Experimental Millimeter-Wave Dosimetry for In Vitro Experiments,"IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., vol.56, pp.2998–3007, 2008.

[16] Y. Kamimura, A. Yamashita, M. Yamazaki, S. Enomoto, and Y. Ugawa, "improvement of experimental system for tracking the threshold of perception currents,"*Proc. EMC Europe 2014*.

[17] I. Laakso, H. Matsumoto, A. Hirata, Y.Terao, R.Hanajima and Y.Ugawa, "Multi-scale simulations predict responses to non-invasive nerve root stimulation,"*J. Neur. Eng.*, 2014 (in press).

[18] P. J. Dimbylow, "Fine resolution calculations of SAR in the human body for frequencies up to 3 GHz,"*Phys. Med. Biol.*, vol.47, pp.2835–2846, 2002.

[19] J. Wang, S. Kodera, O. Fujiwara, and S. Watanabe, "FDTD calculation of whole-body average SAR in adult and child models for frequencies from 30 MHz to 3 GHz," *Phys. Med. Biol.*, vol.51, pp.4119–4127, 2005.

[20] .Nagaoka, E.Kunieda and S. Watanabe,"Proportion-corrected scaled voxel models for Japanese children and their application to the numerical dosimetry of specific absorption rate for frequencies from 30 MHz to 3 GHz,"*Phys. Med. Biol.*, vol.59, no., pp.6695–6711, 2008.

[21] I. D.Flintoft, M. P. Robinson, G. C. R.Melia, A. C. Marvin, J. F. Dawson, "Average absorption cross-section of the human body measured at 1–12 GHz in a reverberant chamber: results of a human volunteer study,"*Phys. Med. Biol.*, vol.59, no.13, pp.3297–3317, 2014.

[22] Statement on the "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys.*,vol. 97, no.33, pp.257–259, 2009.

[23] http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789241599948_eng.pdf

[24]A. Hirata and O. Fujiwara, "Correlation between mass-averaged SAR and temperature elevation in human head model exposed to RF near-fields from 1 to 6 GHz,"*Phys. Med. Biol.*, vol.54, pp.7227–7238, 2009.

[25] INTERPHONE Study Group, "Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study", *Int J Epidemiol*, vol.39, pp.675–694, 2010.

[26] K. Wake, N. Varsier, S. Watanabe, M. Taki, J. Wiart, S. Mann, I. Deltour and E. Cardis, "The estimation of 3-D SAR distributions in a human head from mobile phone compliance testing data for epidemiological studies", *Phys. Med. Biol.*, vol. 54, pp. 5695–5706, 2009.

[27] N. Varsier, K. Wake, M. Taki, S. Watanabe, E. Carids, J. Wiart and N. Yamaguchi, "Categorization of Mobile Phones for Exposure Assessment in Epidemiological Studies on Mobile

Phone Use and Brain Cancer Risk”, *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol.56, no.10, pp.2377–2384, 2008.

[28] T. Takebayashi, N. Varsier, Y. Kikuchi, K. Wake, M. Taki, S. Watanabe, S. Akiba and N Yamaguchi “Mobile phone use, exposure to radiofrequency electromagnetic field, and brain tumour: a case-control study,” *British J. Cancer*, vol.98, pp.652–659, 2008.

[29] E. Cardis, B. K. Armstrong, J. D. Bowman, G. G. Giles, M. Hours, D. Krewski, M. McBride, M. E. Parent, S. Sadetzki, A. Woodward, J. Brown, A. Chetrit, J. Figuerola, C. Hoffmann, A. Jarus-Hakak, L. Montestruq, L. Nadon, L. Richardson, R. Villegas, M. Vrijheid, “Risk of brain tumours in relation to estimated RF dose from mobile phones: results from five Interphone countries,” *Occupational and Environmental Medicine*, vol.68, pp.631–640, 2011.

[30] K. Wake, T. Arima, S. Watanabe and M. Taki, “SAR distributions in a child head phantom in the vicinity of recent mobile phones,” *Proc. General Assembly and Scientific Symposium*, 2011.

[31] A. Y. Simba, K. Wake, S. Watanabe, S. N. Enomoto and Y. Ugawa, “Exposure system for a study of effects of mobile phones to human sleep and its dosimetry evaluation using numerical mobile phone,” *AFRICON*, 2011.

[32] C. M. Boutry, S. Kuehn, P. Achermann, A. Romann, J. Keshvari and N. Kuster, “Dosimetric Evaluation and Comparison of Different RF Exposure Apparatuses Used in Human Volunteer Studies,” *Bioelectromagnetics*, vol.29, pp.11–19, 2008.

[33] T. Arima, H. Watanabe, K. Wake, H. Masuda, S. Watanabe, M. Taki and T. Uno, “Local exposure system for rats head using figure-8 loop antenna in 1500 MHz Band,” *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol.58, no.10, pp.2740–2747, 2011.

[34] A. Hirata, H. Masuda, Y. Kanai, R. Asai, O. Fujiwara, T. Arima, H. Kawai, S. Watanabe, I. Lagroye and B. Veyret, “Computational modeling of temperature elevation and thermoregulatory response in the brains of anesthetized rats locally exposed at 1.5 GHz,” *Phys. Med. Biol.*, vol.56, no.23, pp.7639–7657, 2011.

[35] J. Wang, K. Wake, H. Kawai, S. Watanabe and O. Fujiwara, “Statistical determination of whole-body average SARs in a 2 GHz whole-body exposure system for unstrained and newborn rats,” *Physics in Medicine and Biology*, vol. 57, pp. 143–154, 2012.

[36] J. Wang, W. Liao, H. Kawai, K. Wake, S. Watanabe and O. Fujiwara, “Performance and validation of a broadband-multi-generation exposure system for unconstrained rats,” *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol.61, no.1, pp.326–334, 2013.

[37] K. B. Jung, T. H. Kim, J. L. Kim, H. J. Doh, Y. C. Chung, J. H. Choi, and J. K. Pack, “Development and validation of reverberation-chamber type whole-body exposure system for mobile-phone frequency,” *Electromagn. Biol. Med.*, vol. 27, pp. 73–82, 2008.

[38] T. Wu, A. Hadjem, M.-F. Wong, A. Gati, O. Picon, and J. Wiart, “Wholebody new-born and

young rats' exposure assessment in a reverberating chamber operating at 2.4GHz," *Phys. Med. Biol.*, vol. 55, pp. 1619–1630, 2010.

[39] Y. Gong, M. Capstick, D. L. McCormick, T. Horn, P. Wilson, N. Kuster, "LIFE TIME DOSIMETRIC ASSESSMENT FOR MICE AND RATS EXPOSED TO CELL PHONE RADIATION," *Proc. 31th URSI*, Beijing, China, Aug. 2014.

[40] J. Chakarothai, J. Wang, O. Fujiwara, K. Wake and S. Watanabe, "Dosimetry of a reverberation chamber for whole-body exposure of small animals," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol.61, no.9, pp.3435–3445, 2013.

[41] J. Chakarothai, J. Wang, O. Fujiwara, K. Wake and S. Watanabe, "A hybrid MoM/FDTD method for dosimetry of small animal in reverberation chamber," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol.56, no.3, pp. 549–558, June 2014.

[42] J. Shi, J. Chakarothai, J. Wang, O. Fujiwara, K. Wake and S. Watanabe, "Quantification and verification of whole-body average SARs in small animals exposed to electromagnetic fields inside reverberation chamber," *IEICE Trans. Commun.*, vol. Vol.E97–B, no.10, Oct. 2014.

[43] T. Shina, Y. Suzuki, K. Wake and M. Taki, "Millimeter-wave exposure apparatus with disc-shaped post-wall waveguide for in vitro experiment," *Annual meeting of the Bioelectromagnetics Society*, PB–204, 2013.

[44] C. Jastrow, T. Kleine-Ostmann and T. Schrader, "Numerical dosimetric calculations for in vitro field expositions in the THz frequency range," *Adv. Radio Sci.*, vol.8, pp.1–5, 2010.

1.7. 総務省委託研究 【事務局】

総務省では、国民が安心して電波を利用できる社会を構築するため、電波の医学・生物学的影響に関する研究を平成9年度から実施している。研究の成果は、世界保健機関(WHO)の国際電磁界プロジェクトに inputs されるなど、電波の健康影響に関する国際的なリスク評価に貢献している。

これまで総務省が実施した研究のうち、平成19年度以降のものを、表〇に一覧で示す(平成18年以前に行われた委託研究については、本検討会の前身の生体電磁環境研究推進委員会の報告書を参照)。

また、研究結果の概要を付録〇にまとめる。

※各委託研究の研究の概要については、過去の受託者に執筆を依頼する。(H19年の研究推進委員会報告書にならい、①研究課題選定の背景、②研究の目的・概要、③研究方法④研究結果⑤結論及び今後の課題について、1案件あたり数ページ程度で依頼する。)

表〇 総務省委託研究により実施した研究一覧

研究案件名	実施年度	長期的影響				短期的影響
		細胞	動物	ヒト	疫学	ばく露評価、閾値探索、評価技術等
携帯電話の電波ばく露に関わるヒトの症状に関する研究	H19～ H20			○		
携帯電話端末からの電波によるヒトの眼球運動への影響	H19～ H21			○		
小児・若年期における携帯電話端末使用と健康に関する疫学調査	H19～ H21 H22～ H24				○	
2GHz帯電波の多世代ばく露の脳の発達及び脳機能への影響	H19～ H21		○			
ミリ波、準ミリ波帯電波の眼部ばく露による影響の指針値妥当性の再評価	H19～ H22					○
頭部局所電波ばく露の及ぼす生体影響評価とその閾値の検索	H19～ H21		○			○
脳内免疫細胞に及ぼす電波ばく露の影響評価	H19～ H21		○			
電波の細胞生物学的影響評価と機構解析	H19～	○				

	H21					
ミリ波帯細胞用ばく露装置と物理的環境の検 索	H19～ H21	○				○
小児に対する人体全身平均 SAR と体内深部 温度上昇の特性評価	H19～ H21					○
実験に基づく電磁界強度指針の妥当性評価 及び確認	H19～ H21					○
電波の人体への安全性に関する評価技術	H19～ H21					○
携帯電話端末からの電波の睡眠に対する影 響	H20～ H22			○		
成人の携帯電話使用者の追跡調査研究	H20				○	
複数の電波ばく露による電波複合ばく露の生 体への影響	H20～H2 1		○			○
免疫細胞及び神経膠細胞を対象としたマイク ロ波照射影響に関する実験評価	H20～ H22	○				
中間周波数帯の電磁界と人体との間接結合 に関する影響調査	H22～ H24					○
電磁波のラット胎児造血器への影響評価	H22～ H24		○			
免疫システムの機能とその発達における電磁 環境の影響に関する研究影響調査	H22～ H24	○	○			
複数の電波ばく露による人体への影響調査	H22～ H24		○			○
電波ばく露による眼部の定量的調査	H23～ H26					○
基準適合性評価方法の開発	H22～ H24					○
数値解析モデルの精密化	H22～ H24					○
超高周波の電波ばく露による人体への影響 調査	H25～ H27	○				
国際共同症例対照研究における症例データ の整理・分析・評価	H25～ H26				○	

刺激作用の周波数依存性の定量的調査	H25～ H26						○
6GH 超の周波数帯における局所ばく露評価	H25～ H27						○
基準適合性評価方法の実証	H25～ H27						○
数値解析モデルの定量的調査	H25～ H27						○

第2章 国際的な動向

2. 1 国際機関の動向（国際的な電波防護活動への貢献）

2.1.1. WHO の動向 【事務局】

WHO は電磁界の健康リスク評価を実施するため、1996 年に国際電磁界プロジェクトを発足した。WHO による科学的な見解はファクトシートとして示されており、現在までに表〇に示すファクトシートが示されている。

平成 19 年度(2007 年度)の本研究会の前身の生体電磁環境研究推進委員会以降では、IARC の発表を受けて、No.193「携帯電話」のファクトシートが 2011 年に更新されている。このファクトシートの中で、今後、国際電磁界プロジェクトによる無線周波数の電磁界の健康リスクに関する現時点での見解を示す「環境保健クライテリア(EHC)」の発行に向けた検討を進めるとしており、現在 WHO においてその検討が進められている。そのドラフトが平成 26 年(2014 年)9 月に公表されたところである。

表〇 電磁界の健康リスクに関する WHO ファクトシート一覧

(総務省の電波防護指針、電波法の対象に関係するもの以外も含む。)

- No.181「国際電磁界プロジェクト」(1998/5)
- No.182「物理的特性と生体への影響」(1998/5)
- No.183「無線周波電磁界の健康影響」(1998/5)
- No.184「公衆の電磁界リスク認知」(1998/5)
- No.193「携帯電話」(2011/6)
- No.201「ビデオディスプレイ装置(VDU)s」(1998/7)
- No.205「超低周波(ELF)」(1998/11)
- No.226「レーダと人の健康」(1999/6)
- No.263「ELF電磁界とがん」(2001/10)
- No.296「電磁過敏症」(2005/12)

No.299「静的な電界および磁界」(2006/3)

No.304「基地局および無線技術」(2006/5)

No.322「超低周波電磁界へのばく露」(2007/6)

なお、先述の総務省の委託研究は、電波防護指針の妥当性評価、適合性評価方法の確立だけでなく、WHO の優先研究課題を優先的に調査研究してきている（WHO に研究結果を入力することにより、環境保健クライテリアの作成に貢献し、ひいては我が国の電波防護指針の改定等、さらに電波の安全性を引き続き確保するための取組に結びつける。）。WHO の研究アジェンダの要約と、総務省委託研究の各課題への対応状況は下記の表のとおりである。

表〇WHO 無線周波数帯の研究アジェンダ表（健康影響県境に関する部分抜粋）

WHO RF 研究アジェンダ推奨事項（健康影響研究）		
優先順位	内容	該当する総務省委託研究
◆疫学		
高い	行動および神経学的障害、がんを含めた影響に関する小児および青年の前向きコホート調査	<ul style="list-style-type: none"> •小児・若年期における携帯電話端末使用と健康に関する疫学調査（H19～21、H22～H24） •国際共同症例対象研究における多様な携帯電話端末・通話形式と健康に関する調査・分析・評価（H25～H26）
高い	十分に確立された人口集団ベースがん登録を利用した脳腫瘍発生率トレンドのモニタリング研究（可能であれば、人口集団のばく露データを連結させること）	•
その他	神経学的疾患の症例対照研究、ただし条件として、客観的なばく露データと交絡因子データが入手可能であり、妥当な参加率が達成される場合に限る。	•携帯電話端末からの電波による症状に関する研究（H19～H20）
◆ヒトでの研究		
高い	さまざまな年齢の小児を対象とし RF 電磁界誘発研究の一層の推進	•
高い	睡眠時および安静時 EEG を含む脳機能への RF の影響可能性の基礎となる神経生物	•携帯電話端末からの電波によるヒトの眼球運動への影響

	学的メカニズムを突き止めるための誘発研究	(H19～H21) <ul style="list-style-type: none"> •携帯電話からの電波の睡眠に対する影響(H20～H22)
◆動物での研究		
高い	発達と行動に対する出生後早期および胎児期の RF ばく露の影響	<ul style="list-style-type: none"> •2GHz帯電波の多世代ばく露の脳の発達及び脳機能への影響(H19～H21) •複数の電波ばく露による電波複合ばく露の生体への影響(H22～H24) •電波のラット胎児造血器への影響評価(H22～H24) •免疫システムの機能とその発達における電磁環境の影響に関する研究(H22～H24)
高い	加齢と神経変性疾患に対する RF ばく露の影響	<ul style="list-style-type: none"> •脳内免疫細胞に及ぼす電波ばく露の影響評価(H19～H21)
その他	生殖器官に対する RF ばく露の影響	<ul style="list-style-type: none"> •
◆細胞での研究		
その他	新技術に利用される RF 電磁界へのばく露、および環境的因子と RF 電磁界の共ばく露の後に生じる細胞の反応を検出するために最適な実験的検査法の明確化	<ul style="list-style-type: none"> •ミリ波帯細胞用ばく露装置開発を目的としたミリ波帯電波の生体電気特性の評価(H19～H22) •眼部への電波ばく露の定量的調査に関する研究(H23～H26) •超高周波の電波ばく露による影響の調査(H25～)
その他	遺伝的背景と細胞型の影響に関する研究の一層の推進:アーチファクトおよび/またはバイアスの影響を受けにくい、新たな高感度の手法を用いて、多様な細胞型に対する携帯電話の RF ばく露の影響可能性を調べること。	<ul style="list-style-type: none"> •電波の細胞生物学的影響評価と機構解析(H19～H21) •免疫細胞及び神経膠細胞を対象としたマイクロ波照射影響に関する実験評価(H20～H22) •免疫システムの機能とその発

		達における電磁環境の影響に関する研究(H22～H24)(再掲)
◆メカニズム		
	なし	•
◆ドシメトリ		
高い	新規および新興の RF 技術を対象にした RF 電磁界放射の特性、ばく露シナリオとばく露レベルの評価; 確立した技術の利用が変化した場合に関しても、同様に評価すること。	<ul style="list-style-type: none"> • ミリ波、準ミリ波帯電波の眼部ばく露による影響の指針値妥当性の再評価(H19～H22) • 中間周波数帯の電磁界と人体との間接結合に関する数値ドシメトリ評価(H22～H24) • 眼部への電波ばく露の定量的調査に関する研究(H23～H26)(再掲) • 電波の人体への安全性に関する評価技術(H19～H21,H22～H24,H25～)
高い	広範な RF 発生源からの個人ばく露の定量化および一般人口集団のばく露の決定要素の明確化	•
その他	RF 労働者の個人ばく露のモニタリング	•

なお、健康影響に関する影響以外では、リスクコミュニケーション等に関する社会学的な研究の重要性も課題に挙げられている。

なお、H22 以前の研究課題は、課題の決定時には WHO 研究アジェンダ 2010 はまだ公表されておらず、当時の WHO 研究アジェンダ 2006 等を考慮して研究課題が決定されたためのものであるが、ここでは、研究アジェンダ 2010 の優先研究課題への対応状況を示している。

2.1.2 ICNIRP の動向 【渡邊構成員】

2.1.2.1 ICNIRP の概要

国際非電離放射線防護委員会 (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection、以下 ICNIRP と略称) は WHO 等により推奨されている電磁界を含む非電離放射線の人体防護ガイドラインを策定している。ICNIRP は電離放射線分野における ICRP (International Commission on Radiological Protection) と同様に科学的な根拠に基づく人体ばく露の許容ガイドラインを策定するために設立されている(表〇)。

表〇ICNIRP と ICRP の比較

	ICNIRP	ICRP
設立	1992年(1973年に IRPA で前身の組織設立)	1950年(1928年に Int. Cong. Radiology で前身の組織設立)
法的な位置づけ	ドイツ登録のNPO	英国登録のNPO
主委員会 (Main Commission)	非営利組織から14名	非営利組織から13名(イングランドまたはウェールズから必ず1名以上を含む)
事務局	ドイツ放射線防護庁(BfS)	カナダ、オタワに専従組織
下部組織	Scientific Expert Group (SEG) と Project Group (PG)	5 Committees 影響・ばく露量・医学・応用・環境
国際組織との連携	WHO, ILO	IAEA, ILO
活動目的	利害関係にとらわれず純粋に科学的な知見に基づき、(電離または非電離)放射線の安全性に関する情報提供と助言(ガイドライン策定)を行う。	

ICNIRP の重要な特徴は ICRP と同様に非営利の科学的組織と定義しており、そのために原則的には産業界からの支援は受けず、WHO や各国政府・学会からの寄付や業務請負により財源を確保している。ICNIRP が所掌する非電離放射線は 0Hz から 3PHz の電磁波(直流電磁界～紫外線)と可聴域を除く音波(20Hz 以下の超低周波音と 20kHz 以上の超音波)を含む。ICNIRP の活動は非電離放射線に関する人体ばく露許容値を含む防護システムを勧告することである。ICNIRP は防護手法の原則を示すが、具体的な規制や行動基準は関連の国際・国内の当局に委ねられているとしている。

2.1.2.2. ICNIRP のリスク評価

ICNIRP のリスク評価では、健康に悪影響を及ぼさない生体影響はガイドラインの根拠とはならない。すなわち、ICNIRP ではガイドラインの根拠となる健康影響を病理的な条件や相当

な苦痛や不快感としている。この健康影響の定義は WHO の健康の定義「単に病気や疾病がないことだけでなく、肉体的、精神的、社会的な観点からの完全な安寧状態(well-being)であること。」とも異なる。

リスク評価では、非電離放射線への人体ばく露量の評価(ばく露評価またはドシメトリ)、生体影響の指標の同定、研究の評価を行う。研究の評価では、適切な研究の選択、適切な手順に基づく研究内容の評価を通じて、最終的に総合的な評価を行う。すなわち、査読付き論文誌に掲載された論文の再評価を行い、科学的に信頼性の高いリスク評価を行う。

ICNIRP における人体ばく露ガイドライン設定では以下の項目について考慮する。

- ばく露量－作用関係
- 影響の性質
最も低い閾値で現れる健康影響が考慮される。
- ばく露の特徴づけ
- 防護対象となる集団
一般公衆には非電離放射線への耐性が低い集団(小児、老人、病人)が含まれる。
- 低減係数
- リスク管理

低減係数はガイドラインの根拠となる知見に含まれる不確かさを保障するために導入されるものである。一般に不確かさが大きいと、大きな低減係数が導入される。低減係数の決定に関する明確な規定はないが、科学的な問題として扱われる。すなわち、低減係数は既得のおよび商業的な立場からの影響を受けるべきではないとされている。なお、ガイドラインへの適合性評価時の評価(測定や計算)に含まれる不確かさは低減係数には含まれていない。これらの不確かさは適合性評価のなかで考慮されるべきものである。また、ICNIRP ガイドラインの参考レベルの一部には、参考レベル導出のばく露評価の不確かさを考慮して、付加的な低減係数が導入されている。

2.1.2.3. 電磁界に関する ICNIRP ガイドライン

ICNIRP は 1998 年に 1Hz から 300GHz までの時間的に変動する電磁界の人体ばく露量に関するガイドラインを発行している。その後、WHO による電磁界の健康リスク評価(環境保健クライテリア)に基づき、2009 年に直流磁界への人体ばく露量ガイドライン、2010 年に低周波電磁界(主に 1Hz - 100 kHz)の人体ばく露量ガイドライン改訂版を発行している。また、2014 年に主に MRI 作業者を対象とした 0Hz-1Hz の磁界または直流磁界中を移動する場合の人体ばく露量のガイドラインが発行されている。

100 kHz 以上の高周波電磁界については、1998 年のガイドラインが用いられている。現在、WHO で作業中の高周波電磁界の健康リスク評価(環境保健クライテリア)が発行された後に高周波電磁界の ICNIRP ガイドラインも改定される予定である。なお、ICNIRP は 2009 年に

1998年ガイドラインについての声明文書を発行し、現時点では1998年ガイドラインを直ちに改定する必要がある科学的な新たな証拠は確認されていないとの認識を示している。

ICNIRP 高周波ガイドライン(1998年版の高周波部分)は下記のように構成されている。

1. まえがき
2. 目的と範囲
3. ばく露の制限の根拠
4. 電磁界と人体との直接結合メカニズム
5. 間接的結合メカニズム
6. ばく露の制限の生物学的根拠
 - (ア) 高周波電磁界の直接的影響
 - (イ) パルス及び振幅変調された波形に関する問題
 - (ウ) 高周波電磁界の間接的影響
 - (エ) 生物学的影響と疫学的研究のまとめ
7. 電磁界ばく露制限のためのガイドライン
 - (ア) 職業的ばく露と公衆のばく露の制限
 - (イ) 基本制限および参考レベル
 - (ウ) 安全係数についての見解
 - (エ) 基本制限
 - (オ) 参考レベル
8. 接触電流および誘導電流の参考レベル
9. 複数の周波数の電磁界への同時ばく露
10. 防護対策
11. 参考文献
12. 付録(用語解説)

ICNIRP ガイドラインでは、電磁界ばく露制限の根拠となる健康影響の指標を用いた基本制限を策定しており、電波防護指針の基礎指針と同様に全身平均SAR、局所SAR、入射電力密度(10GHz以上)で示されている。しかし、SARを直接的に評価することは一般には困難であるため、人体に入射する電界強度・磁界強度・電力密度で示した参考レベルも策定されている。参考レベルは人体の電波吸収が最大となる一様な電磁界に人体が曝された場合にも基本制限値を超えることがないように策定されている。したがって、携帯電話使用時にアンテナ近傍の局所的に高強度の電磁界が表れているような場合には、参考レベルは過剰に厳しすぎる制限となることから、そのような場合には基本制限に基づいて評価することとしている。

また、ICNIRP ガイドラインでは接触電流・誘導電流に関する参考レベルも示されている。

電波防護指針では参考レベルに相当する管理指針の電磁界強度指針の注意事項に接触電流・誘導電流の測定を要しない電磁界強度レベルが示されているが、ICNIRP ガイドラインでは相当する電磁界強度の参考レベルが示されておらず、原則的には全てのケースで接触電流・誘導電流の測定が必要となっている。

ICNIRP ガイドラインの局所SAR制限値は連続したひとかたまりの任意の 10g 組織の平均値(averaged over any 10-g of contiguous tissue)となっている。局所SARの根拠は 1998 年のガイドラインには明確に記載されていないが、1996 年に発行された声明文書において眼球での温度上昇を 1°C以下に制限することを根拠としていることが示されている。ICNIRP ガイドラインが発行された当初は IEEE ガイドラインでは局所SARを 1g 平均値で規定しており、両国際ガイドラインの相違が問題となったが、その後、IEEE ガイドラインの改定版では ICNIRP と同じ 10g 平均の局所SARが規定されたため、両ガイドラインの整合性は向上している。しかし、IEEE では評価の再現性等を考慮して、10g 平均領域の形状を立方体としているのに対し、ICNIRP は任意の形状としている。さらに、IEEE ガイドラインでは耳介を四肢(extremity)と定義し、ガイドライン制限値を緩和しているのに対し、ICNIRP では耳介は頭部・体幹に含まれている。したがって、ICNIRPとIEEEの両国際ガイドラインについては、整合性は向上してきているものの、未だ完全には整合されていないことに注意が必要である。

2.1.2.4. ICNIRP のその他の動向

2009年に発行されたICNIRPの声明文書では、高周波電磁界に関する最新の研究動向として小児の人体ばく露量特性が取り上げられている。そこでは、総務省委託研究により開発された数値人体モデルを用いた研究等を引用し、小児の全身平均SARが成人に比べて最大40%程度過大となることが報告されている。しかし、この程度の増加は一般公衆に考慮されている5000%の低減係数に比べると無視できるものとの見解が示されている。

また、2011年にIARCが高周波電磁界の発がん性を2Bと判定しているが、同年に発行されたICNIRPのレビュー論文では、IARCが根拠とした疫学研究のこれまでの結果は携帯電話の脳腫瘍発がんを否定する証拠を増強するものであると結論している。

ICNIRPは2013年に下部組織を改編し、それまであった四つの常置委員会(SC1:疫学、SC2:生物、SC3:物理・工学、SC4:光学)を廃止し、ICNIRPの活動に従事するために選出されたScientific Expert Group(SEG)メンバーと個別のICNIRPのプロジェクトに従事するProject Group(PG)を設置した。PGメンバーは主委員会委員とSEGメンバーから構成される。SEGメンバーは主委員会委員と同様に、産業界以外の中立的な組織に所属する専門家から、主委員会委員の投票により選出される。現在、主委員会委員にはNICTの渡辺氏、SEGメンバーにはJEICの大久保氏、JNIOOSHの奥野氏、名工大の平田氏が選出されている。また、1996年～2004年には首都大の多氣氏が主委員会委員を務めている。

ICNIRPガイドラインは我が国の電波防護指針や欧州指令・勧告等の様々な地域・国の電

磁界への人体ばく露許容値に反映されている。したがって、ICNIRP 活動に我が国からの専門家が参加することは、我が国における電磁界規制との整合性確保やガイドラインの根拠を正しく認識した円滑な規制導入のためにも、非常に重要である。このため、研究者の育成や ICNIRP 活動への支援について、我が国の関係機関の積極的な支援が望まれる。

2.1.3. IARCの動向 【宮越構成員】

2.1.3.1. IARCの電波に関する発がん性評価会議の概要

2011年5月24-31日に、国際がん研究機関(IARC)で電波(RF)に関する発がん性評価会議が開催された。その概要を以下に紹介する。この発がん性評価に参加したワーキンググループメンバーは、15カ国30名で、我が国からは2名が参加した。1)工学研究グループ(4名)、2)疫学研究グループ(10名)、3)動物研究グループ(4名)、および4)生物研究グループ(12名)がそれぞれの研究領域のまとめを行い、全体会議で総合評価を行う形式で行われた。電磁波(非電離)の生体影響評価研究には、細胞レベル、動物レベルからヒト個体を対象として、これまで研究が行われてきている。表1に、電磁波生体影響の主な評価指標をまとめた。

表1. 電磁波生体影響を評価する主な研究内容

研究分類	対象	研究内容
細胞実験研究	細胞	細胞増殖、DNA合成、染色体異常、姉妹染色分体異常、小核形成、DNA鎖切断、遺伝子発現、シグナル伝達、イオンチャンネル、突然変異、トランスフォーメーション、細胞分化誘導、細胞周期、アポトーシス、免疫応答など
動物実験研究	実験動物 (ラット、 マウスなど)	発がん(リンパ腫、白血病、脳腫瘍、皮膚がん、乳腺腫瘍、肝臓がんなど)、生殖や発育(着床率、胎仔体重、奇形発生など)、行動異常、メラトニンを主とした神経内分泌、免疫機能、血液脳関門(BBB)など
疫学研究	ヒト	発がんやがん死亡(脳腫瘍、小児および成人白血病、乳がん、メラノーマ、リンパ腫など)、生殖能力、自然流産、アルツハイマー症など
人体影響	ヒト	心理的・生理的影響(疲労、頭痛、不安感、睡眠不足、脳波、心電図、記憶力など)、メラトニンを主とした神経内分泌、免疫機能など

IARCの発がん性評価で、最初に特記すべきことは、発がんの定性的性質(ハザード)を評価するものであって、定量化(リスク)するものではない。この点をよく理解しないと、一般の人たちに誤解を与えかねない報道になることがたびたびある。評価会議に参加したワーキンググループメンバーの結論は以下のとおりである。

- 1) 疫学研究の評価:これまでの研究結果を総合すると、一部の“陽性結果”を判断材料の基礎として、ワーキンググループは、「限定的証拠(Limited evidence in humans)」と評価した。
- 2) 実験動物研究の評価:これまでの研究結果を総合すると、陰性の結果が多いものの、一部の複合的発がん研究の“陽性結果”は発がん性の証拠として認められ、ワーキンググループは、「限定的証拠(Limited evidence in experimental animals)」と評価した。
- 3) 細胞研究の評価:一部の論文で“陽性”を示す結果があるものの、ワーキンググループの総合的判断として、「発がんメカニズムについては、弱い証拠 (Weak mechanistic evidence)」として評価した。
- 4) 総合評価:ヒトの疫学研究および実験動物の発がん研究について、それぞれ「限定的証拠」と評価した。細胞研究などの「メカニズムとしての弱い証拠」も含めて、ワーキンググループのマイクロ波発がん性総合評価は、「グループ2B(Possibly carcinogenic to humans)」(発がん性があるかもしれない)と決定した。

表2は IARC によるこれまでの発がん性分類例を示す。今回のマイクロ波に関する「2B」の評価は、あくまで、携帯電話からの電磁波と脳腫瘍との関係を「限定的な証拠」として認めたものである。WHO は IARC のマイクロ波発がん性評価を受けて、発がん以外の健康影響を含めた総合評価、環境保健クライテリア(Environmental Health Criteria)の作成作業を現在進めている。

表 2. IARC による発がん性の分類とその主な例

発がん性の分類及び分類基	既存分類結果[970 種]
グループ 1: 発がん性がある(Carcinogenic to humans)	アルコール飲料、喫煙、受動喫煙、無煙たばこ、電離放射線(全種類)、太陽光、紫外線(波長 100~400nm)、紫外線を照射する日焼け装置、アスベスト(全形態)、カドミウム及びカドミウム化合物、アフラトキシン 35、ベンゼン、ホルムアルデヒド、ディーゼルエンジン排ガス、トリクロロエチレン 37、屋外大気汚染、粒子状物質など [合計 113 種]

グループ 2A: おそらく発がん性がある (Probably carcinogenic to humans)	アクリルアミド 38、無機鉛化合物、熱いマテ茶、日内リズムを乱す交代制勤務、マラリア、テトラクロロエチレン 37、木材などのバイオマス燃料の室内での燃焼など [合計 66 種]
グループ 2B: 発がん性があるかもしれない (Possibly Carcinogenic to humans)	鉛、重油、ガソリン、コーヒー39、漬物、メチル水銀化合物、クロロホルム、超低周波磁場、ガソリンエンジン排ガス、高周波電磁波(ワイヤレス式電話からのものを含む)など [合計 285 種]
グループ 3: 発がん性を分類できない (Unclassifiable as to carcinogenicity to humans)	静電場、静磁場、超低周波電場、蛍光灯、原油、軽油、カフェイン、お茶、マテ茶、水銀及び無機水銀化合物、有機鉛化合物、など [合計 505 種]
グループ 4: おそらく発がん性はない (Probably not carcinogenic to humans)	カプロラクタム 40 [1 種]

(2014年2月18日現在)

2.1.3.2. IARCの発がん性評価に関するコメント

1. 一部の疫学研究で陽性効果と認められた脳腫瘍(神経膠腫、聴神経鞘腫)の増加、さらに、一部の動物研究(複合ばく露)で報告された発がんの増加、それぞれについては、IARCの多くの評価委員が認めたものである。
2. IARCの発がん性評価は、あくまで定性的性質(ハザード)である。このことを解りやすく、リスクコミュニケーションのなかで、伝えていくことが重要である。
3. 携帯電話が世界的に汎用(一般的)になった現在、上記の発がん性評価に加えて、免疫機能など、発がん以外の健康影響についても、さらなる研究を進めることが必要と考える。
4. 電磁過敏症に関する課題は全体会議で取り上げられなかったが、個々の評価委員の議論の中で話題となっていた。科学的評価を行うには、方法論の1つとして、作用機構の有無を含んだ分子遺伝学的な検索研究を推奨する。

2.1.4. その他の国際機関の動向

2.1.4.1. IEEE / ICES の動向 【平田構成員】

(1) 概要

電磁界安全に関わる IEEE 国際委員会（IEEE International Committee on Electromagnetic Safety、以下 IEEE/ICES と略称）は、34 技術委員会および 95 技術委員会の二つから構成されている。前者は製品の適合性評価に関する国際規格を、後者は 0Hz～300 GHz の周波数帯の電磁界生体安全性に関する国際規格を策定している。IEEE/ICES 95 技術委員会により策定された人体安全性に関する規格は ICNIRP ガイドライン同様、WHO 等により参照される国際規格である。IEEE/ICES は、26 か国約 150 名のメンバーから構成されており、ICNIRP との主な相違点として、産業界からのメンバーを含んでいる点が挙げられる。また、IEEE/ICES 95 技術委員会は、以下の 6 つの小委員会 (Subcommittee、以下 SC と略称) から構成されている。

SC1 技術、手続き、計装

SC2 用語、物理単位、ハザードコミュニケーション

SC3 人体ばく露の安全レベル (0-3kHz)

SC4 人体ばく露の安全レベル (3kHz-300GHz)

SC5 点火源の安全レベル

SC6 ドシメトリのモデル化

これらの組織より、3個の規格、3つの推奨方法、1つのガイドラインが発行されている。

- IEEE Std 1460™-1996 (R2002)、準静的な磁界および電界測定の手引き
- IEEE Std C95.1 (2005)、3 kHz～300 GHzの無線周波電磁界への人体ばく露に関する安全レベルについてのIEEE規格
- IEEE Std C95.2™-1999 (R2005)、無線周波エネルギーと電流記号に関するIEEE規格
- IEEE Std C95.3™-2002、100kHz～300GHzの電磁界への人体ばく露に関する測定および計算推奨法
- IEEE Std C95.4™-2002、雷管を用いた点火作業における送信アンテナからの安全距離の決定に関する推奨法
- IEEE Std C95.6™-2002、0 Hz～3 kHzの電磁界への人体ばく露に関する安全レベルについてのIEEE規格
- IEEE Std C95.7™-2005、3 kHz～300 GHzのRF安全プログラムに関するIEEE推奨法

(2) IEEEのリスク評価

IEEEのリスク評価の過程については、例えば、IEEE C95.1 規格付録 A.1 など、規格の付録として述べられている。具体的には、2005年に実施された C95.1 の改定では、文献サーベイワーキンググループが2003年12月までの査読付き原著論文あるいは新規性を有する技術報告書を主な対象とした2200編、加えて2004年、2005年に発表された主なものについても加味し、検討の対象とした。対象となる論文を、工学、疫学、*in vivo*、*in vitro*に分けて考えられ、たとえば、工学に関わるWGは、すべての工学論文を再査読している。*in vivo* および *in vitro* 研究については、ばく露装置の適切さについても検討を行っている。論文のサーベイについては継続的に行われており、年2回程度開催される会議で紹介されている。リスク評価に関するこれら一連の手続きおよび結論は、ICNIRP とほぼ同様である。なお、ICNIRP で低減係数と呼ばれるものは、IEEE では安全係数と呼ばれ、不確かさを保障するために導入されるものである。低周波と高周波において、生体への影響が異なるため、安全係数の考え方も異なる。

(3) 電磁界安全性に関する IEEE 規格

IEEEより発行された安全基準に関する規格は、3 kHz を境に異なる規格となっており、低周波側は、2002年に発行された C95.6、「0 Hz～3 kHz の電磁界への人体ばく露に関する安全レベルについての IEEE 規格」、高周波側は、2005年に改定された C95.1「3 kHz～300 GHz の無線周波電磁界への人体ばく露に関する安全レベルについての IEEE 規格」である。これらの規格は、それぞれ、SC3、SC4 を中心に作成されたものである。これらの規格も ICNIRP と同様に基本制限と参考レベル(MPE: maximum permissible exposure と呼ばれる)の2段階構成であるが、誘導電界の基本制限が、部位ごとに異なっていることが特徴である。20Hz を中心に、磁気閃光が、低周波から中間周波に関しては末梢神経系の刺激が基本制限の決定要因となっている。また、高周波においては熱効果を考え、SARを用いている。

3 kHz 以上の高周波電磁界については、2005年に改訂された規格が用いられており、下記のように構成されている。

13. 概観

- 1.1. 適用範囲
- 1.2. 目的
- 1.3. まえがき

14. References

15. 定義、頭示語、略語、記号

- 3.1. 定義
- 3.2. 頭示語

3.3. 略語

3.4. 記号

16. 推奨

4. 1. 3 kHz–5 MHz の基本制限と参考レベル
4. 2. 100 kHz–3 GHz の基本制限と参考レベル
4. 3. 3 GHz–300 GHz の基本制限
4. 4. 100 kHz–300 GHz の参考レベル
4. 5. 接触によるRF火傷を守るための推奨値
4. 6. 局所曝露に対する電力密度に関する参考レベルの緩和
4. 7. 本規格との適合性評価
4. 8. RF安全性プログラム

付録A. IEEE Std C95.1(1999年版)改定における手順

付録B. IEEE Std C95.1(1999年版)改定へのアプローチ

付録C. 根拠

付録D. 適合性評価への適用例

付録E. 用語集

付録F. 文献データベース

IEEE規格では、ICNIRPガイドラインと同様、電磁界ばく露制限の根拠となる健康影響の指標を用いた基本制限を策定しており、電波防護指針の基礎指針と同様に全身平均SAR、局所SAR、入射電力密度(3GHz以上)で示されている。しかしながら、体内の物理量を直接的に評価することは一般には困難であるため、人体に入射する電界強度・磁界強度・電力密度で示した参考レベルも策定されている。また、接触電流に関する参考レベルは、総務省防護指針、ICNIRPガイドラインとは異なり、姿勢あるいは接触の相違により詳細に細分されている。IEEE規格では、局所SAR制限値は複数組織の含有を許容した立方体計上10g組織の平均値となっている。1999年の規格では、局所SARの平均化質量は1g、許容値は1.6W/kg(一般環境)であったが、2006年の規格ではそれぞれ10g、2W/kgに変更した。主な要因として、近年の数値ドシメトリにより、10gのSARと温度上昇の間にはよい相関がみられること、かつ職業環境における制限値である10W/kgに対して眼球および脳の温度上昇がおおよそ1度を超えないことが示されたことによる。

(4) IEEEのその他の動向

ICNIRPでは、もともと一つであったガイドラインを周波数帯ごとに2つに分けたのとは対照的に、IEEE規格はもともと二つあった規格(C95.1、C95.6)を一つに統合す

るための検討を開始している。その際、中間周波数帯におけるデータが十分ではなく、かつドシメトリ技術の発展に伴い、評価を継続している。このような経緯のため、IEEE 95 技術委員会は 2014 年に組織を改編し、SC6 として Dosimetry Modeling を設置した。その委員長としては、名工大の平田氏が選出されている。SC6 は、ドシメトリの数値モデル化に基づき、生物学的な閾値と基本制限の関係、基本制限と参考レベルの関係などを議論する周波数横断型の委員会であり、今後の改定に有用なデータを提供することを目的としている。

IEEE 規格は、北米や一部の南米など、いくつかの地域・国の電磁界への人体ばく露許容値に反映あるいは参考にされている。また、その起源が学会の活動であることから、定期会議では、学術的な議論も活発になされている。WHO では、国際ガイドライン／規格の調和について言及しており、我が国の安心・安全な電波利用のためには、研究動向および規格化の動向を注視することは重要である。

2.1.4.2. ITU の動向 **【事務局】**

【TBD】

2.1.4.3. IEC の動向 **【事務局】**

【TBD】

2. 2 諸外国の規制動向 【事務局】

諸外国における電波防護に関する規制の状況について表〇に示す。日本を含む多くの国で、WHO が推奨するガイドラインである ICNIRP ガイドラインの参考レベルや IEEE ガイドラインに準拠した法的規制がされている。一方、独自の調査結果を参考にした基準値を採用している国も一部に見られる。また、欧州においては、ICNIRP の参考レベルに独自の安全係数を加えた国や、公共施設、医療機関、教育施設等の周辺エリアに厳しい制限を課した規制を導入している国が一部に存在する。

各国(地域)の電波防護規制のまとめ

一覧表作成で留意した点を次頁(注1)に示す。

表 1 には、調査した国(地域)の公衆ばく露の規制状況の変遷経過の一覧表を示す。

表 2 には、国(地域)別の ICNIRP ガイドラインの参考レベルへの準拠状況を一覧対比できるように示した。特に、ICNIRP ガイドラインの参考レベルに準拠した国(地域)と、それ以外の国(地域)を区分して示した。

表 3 には、各国(地域)における基本制限の比吸収率(SAR)の規制状況を示す。

表 4~9 は、各国(地域)の電波防護規制状況を一覧表にまとめたものである。

表 10~13 は、1998 年と 2010 年の ICNIRP ガイドラインの参考レベルを示す。

- ◆ 米国は、米国規格協会/米国電気電子学会(ANSI/IEEE)の規格および米国放射線防護測定審議会(NCRP)のガイドラインを採用して電磁界強度および基本制限の規制を行うこととし、独自の規定を定めて規制している(47.6 V/m)。
- ◆ 欧州は、調査した国のほとんど(即ち、フィンランド、スウェーデン、ノルウェー、デンマーク、オランダ、フランス、英国、ドイツ、オーストリア、スペイン、チェコ、ハンガリー、ルーマニアの 13 カ国)は、国際非電離放射線防護委員会(ICNIRP)のガイドラインの参考レベル(電磁界強度と電力密度の規制値)に準拠している(41 V/m)。
- ◆ しかし、欧州でもスイス(41 V/m と 4 V/m)、イタリア(ばく露限界: 20 V/m、注意値および品質目標: 6 V/m)、ギリシャ(70%値: 29 V/m、60%値: 25 V/m)、クロアチア(41 V/m と 40%値: 16.5 V/m)では、ICNIRP ガイドラインの参考レベルを基本としつつも、長時間滞在する居住場所または学校・病院等の場所ではより厳しい制限値を設定している。ベルギーは、ばく露防護規制の管轄権が地域政府にあるとの 2009 年の最高裁判決により、3 地域政府(ブリュッセル首都地域政府、フランドル地域政府、ワロン地域政府)がそれぞれ個別ではあるが、厳しい制限値の規制を実施している(3 地域とも 3 V/m)。

- ◆ また、ロシア、ポーランド、ブルガリアは、電磁界強度や電力密度について独自に厳しい規制を行っている(ロシアとブルガリア:6 V/m、ポーランド:7 V/m)。
- ◆ EU(欧州連合)の全ての加盟国は、電磁界の公衆ばく露の EU 理事会勧告 1999/519/EC に準拠しており、ICNIRP ガイドラインより緩い規制の国はない。また、EU 加盟国、ノルウェー等の EEA(欧州経済領域)協定加盟国において、携帯電話、基地局設備等の製品を市場投入する製造業者や販売業者は、EU の R&TTE 指令(無線機器および電気通信端末機器指令 1999/5/EC)とその整合規格への適合宣言と CE マーク貼付を行うことが義務付けられている。EEA 協定非加盟国のスイスは、EU 勧告 1999/519/EC や欧州規格に自主的に適合・準拠しているという。ああ「用心のための原則」(precautionary principle)、「用心策」(precaution)、「用心のための方策」(precautionary approach)等の概念を考慮して電磁界規制の政令／条例／勧告等を定めている国(地域)に、スウェーデン ^{※1}、ベルギー連邦政府 ^{※2}および 3 地域政府、スイス、イタリア、ギリシャ、クロアチアがある。ロシアは「予防的措置」の語が規則に見られる。

^{※1} スウェーデンでは、携帯電話使用時のばく露低減策を勧告。^{※2} ベルギー連邦政府は、子供用携帯電話の販売禁止の王令を制定。これらの注記以外の上記国(地域)では、前頁に記載したように、厳しい制限値が規定されている。

なお、ドイツでは、電波ではない 50Hz の低周波設備に対し用心策の規定がある。

(注 1)平成 18 年度(2006 年度)、平成 22 年度(2010 年度)、平成 25 年度(2013 年度)の総務省の「平成 25 年度電波防護に関する国外の基準・規制動向調査」をもとに記載。括弧内に、最新の調査年度を記載している。

表 4~9 の整理にあたり、本調査の主目的の高周波(無線周波)領域の電波防護規制のまとめを記載し、送電線・高圧電源施設や EMC(電磁環境両立性)に関係する事項は除外した。また、欄「電波防護規制の法令・ガイドライン(制定/発効年)」には規制に係る重要法令等を厳選し、欄「規制制定の政府機関」には政令制定機関を厳選し記載した。特に政府機関の名称は、現在の名称が制定当初の名称と異なる場合があり(改組や統合等により)現在の所管機関の名称を表示した。

(注 2)EU の 4 つの自由化(製品・人・サービス・資本の移動の自由化)に係る EU 指令は、原則的に EEA(European Economic Area 欧州経済領域)協定の加盟国(EU 加盟国の他にノルウェー、アイスランド、リヒテンシュタインが加盟)の各国内法に置換えて強制化されることになっている。スイスは EEA 非加盟のため EU の法規制は受けないが、スイス連邦環境局によれば、対応の遅れはあるものの、自主的に電磁界ばく露関連の EU 指令や欧州規格(EN)に適合・準拠するとしている。以下の一覧表 4~9 では、「(EEA で強制)」、「(規定なし)EN 準拠」などと表示し、EEA 協定により、R&TTE 指令およびその引用の EN が強制的に適用されていることを示す。

表 1 各国（地域）における公衆ばく露の電波防護規制の制定経過

地域	規制の根拠	根拠との関係	～1998年	1999年	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	～2010年	～2013年	
北米	ANSI/IEEE NCRP, 他	参考	・米国 ・カナダ									・09 カナダ(政令一部修正)(2006/2010)		
欧州	ICNIRP (1998) (EU 理事会勧告 1999/ 519/EC)	ICNIRP 準拠	・ドイツ (電磁界政令)		・デンマーク △オランダ ・チェコ	・スペイン	・フランス △スウェーデン	・ドイツ(証明 手続き政令) ・スウェーデン ・フィンランド ・ルーマニア	・英国		▲オーストリア	・10 ノルウェー(規則 改正) ・08 チェコ(政令改 正)	・13 ドイツ(政令 改正)	
		ICNIRP 準拠+安全 係数		・スイス	・ベルギー ・イタリア(枠組 法) ・ギリシャ ・クロアチア (通信省規則)		・イタリア (規制値の政令) ・クロアチア (保健省政令)	・ハンガリー				・09 ベルギー(地域管 轄権下の規制) ・09 スイス(政令一部 修正)	・12 イタリア(政 令一部修正) ・12 ギリシャ(政 令改正) ・11 クロアチア (政令改正)	
	NRPB (1993)	独自設定	△英国											
	IRPA/ INIRC (1988/ 1992)	参考	△オランダ ・フィンランド ・ルーマニア △オーストリア											
	独自 研究	独自設定	※ロシア ※ブルガリア ※ハンガリー		※ハンガリー			※ロシア(規則 を整理・再編) ※ポーランド						
オセア ニア	ICNIRP (1998)	ICNIRP 準拠		△ニュージー ランド		△台湾 △シンガポール	・ブラジル △韓国	・オーストラリア △マレニシア △南アフリカ		▲ニュージー ランド		・07 タイ(2006/2010) △インド(2006/2010)		
アジア		準拠+安全 係数				・トルコ				・フィリピン		・07 韓国(法改正) (2006/2010) ・トルコ(政令改正) (2006/2010)		
その他	独自研究 規制なし	独自設定	※中国									タイ、インド		

(注) ●→ : 規制の変遷を示す。

・(中点): 法的効力のある強制的規制の国を示す。

△、▲: 勧告(自主規制)。▲は法的文書に基準を引用、または行政指導等で基準を使用、等の可能性あり。ニュージーランドでは、自治体の都市計画規則にも適用。

ICNIRP 準拠+安全係数: ICNIRP ガイドラインの参考レベルに準拠し、さらに、ばく露場所により安全係数 N を追加し(参考レベルの N 分の 1 倍の) 厳しい制限値を制定。

※: ICNIRP ガイドラインより厳しい規制値を制定。ロシアとブルガリアの公衆ばく露の規制値は、30 kHz~30 GHz の周波数範囲では同一。

表 2 各国(地域)における公衆ばく露の電波防護規制の分類

No.	国(地域)名	ICNIRPガイドラインの参考レベル準拠		ICNIRPの参考レベル準拠+安全係数	独自・他基準参考	規制周波数の範囲
		法的規制	勧告(自主規制)	法的規制	法的規制	
01	米国(2013)				○	300 kHz ~ 100 GHz
02	カナダ(2010)				○	3 kHz ~ 300 GHz
03	フィンランド(2013)	○				0 Hz ~ 300 GHz
04	スウェーデン(〃)	EEA	△			〃
05	ノルウェー(〃)	○				〃
06	デンマーク(〃)	EEA	△			〃
07	オランダ(〃)	EEA	△			〃
08	ベルギー(〃)				※	ブリュッセル首都地域とワロン地域: 0.1 MHz ~ 300 GHz フランドル地域: 10 MHz ~ 300 GHz
09	フランス(〃)	○				0 Hz ~ 300 GHz
10	英国(〃)	○				〃
11	ドイツ(〃)	○				〃
12	オーストリア(〃)	EEA	▲			〃
13	スイス(〃)			※		〃
14	イタリア(〃)			※		〃
15	ギリシャ(〃)			※		〃
16	スペイン(〃)	○				〃
17	ロシア(〃)				※	30 kHz ~ 300 GHz
18	ポーランド(〃)				※	0 Hz ~ 300 GHz
19	チェコ(〃)	○				〃
20	ハンガリー(〃)	○				〃
21	ルーマニア(〃)	○				〃
22	ブルガリア(〃)				※	30 kHz ~ 30 GHz
23	クロアチア(〃)			※		0 Hz ~ 300 GHz
24	オーストラリア(2010)	○				3 kHz ~ 300 GHz
25	ニュージーランド(〃)		▲			〃
26	韓国(〃)	○				0 Hz ~ 300 GHz
27	中国(〃)				※	100 kHz ~ 300 GHz
28	台湾(2006)		△			0 Hz ~ 300 GHz
29	シンガポール(2006)		△			50 Hz ~ 26 GHz
30	フィリピン(2010)	○				3 kHz ~ 300 GHz
31	マレーシア(2006)		△			0 Hz ~ 300 GHz
32	タイ(2010)	○				9 kHz ~ 300 GHz
33	インド(〃)		△			0 Hz ~ 300 GHz
34	トルコ(〃)			※		10 kHz ~ 60 GHz
35	ブラジル(〃)	○				9 kHz ~ 300 GHz
36	南アフリカ(〃)		△			0 Hz ~ 300 GHz

網掛けの国(地域): ICNIRP ガイドラインの参考レベル準拠の国(地域)。

○、※: 法的規制。 ※: ICNIRP ガイドラインより厳しい規制。

△、▲: 勧告(自主規制)。 ▲: 法的文書・行政指導等に基準の引用・使用で強制となる可能性有。

EEA: 勧告(自主規制)ではあるが、EEA 加盟国のため R&TTE 指令の EN(欧州規格)で法的規制。

表 3 各国(地域)における比吸収率(SAR)¹ の制定状況:(a)~(c)

(a) ICNIRP ガイドライン(1998 年)の SAR

	周波数範囲	全身平均 SAR (W/kg)	頭部・胴体の局所最大 SAR(W/kg)	四肢の局所最大 SAR(W/kg)	SAR の平均値を求め る時間
			生体組織 10 g 平均	生体組織 10 g 平均	
公衆ばく露	100 kHz~10 GHz	0.08	2	4	6 分
職業ばく露	100 kHz~10 GHz	0.4	10	20	
公衆ばく露 SAR 準拠国	・欧州(2013): EU 加盟国、ノルウェー、 スイス(自主的に準拠)、ギリシャは上表の 70%値と 60%値 ・オセアニア(2010): オーストラリア、ニュージーランド(勧告/自主規制) ・アジア: シンガポール(勧告/自主規制)(2006)、フィリピン(2010)、 マレーシア(勧告/自主規制)(2006)、タイ(2010)、インド(2010) ・その他: ブラジル(2010)、南アフリカ(勧告/自主規制)(2010)				

(注) 欧州の EEA 協定加盟国(EU 加盟国とノルウェー)は国内の SAR 規定の有無に関わらず、R&TTE 指令の EN(欧州規格)により、ICNIRP ガイドラインの SAR に強制的に準拠。
 ロシア(2013)、台湾(2006)、トルコ(2010)では SAR の規定はない。

(b) IEEE 規格(IEEE Std C95.1-1991)の SAR

	周波数範囲	全身平均 SAR (W/kg)	頭部・胴体の局所最大 SAR(W/kg)	四肢の局所最大 SAR(W/kg)	SAR の平均値を求め る時間
			生体組織 1 g 平均	生体組織 10 g 平均	
公衆ばく露	100 kHz~6 GHz	0.08	1.6	4	6 分 or 30 分
職業ばく露	100 kHz~6 GHz	0.4	8	20	6 分
準拠国	・北米: 米国(2013)、カナダ(2010) ・アジア: 韓国(公衆ばく露の 1.6 W/kg のみ)(2010)				

(注) 周波数範囲は、国により上表の IEEE 規格とは異なる場合がある。改定規格 IEEE Std C95.1-2005(2006.04.19 発行)では、上記(a) ICNIRP ガイドライン(1998 年)と同じ SAR 値となったが、上記 3 カ国は SAR 値の改定には至っていない(2013 年度末現在)。

(c) 独自データに基づく SAR

	周波数範囲	全身平均 SAR (W/kg)	頭部・胴体の局所最大 SAR(W/kg)	四肢の局所最大 SAR (W/kg)	SAR の平均値を求め る時間
公衆ばく露	100 kHz~300 GHz	0.02	—	—	6 分
職業ばく露	100 kHz~300 GHz	0.01	—	—	
準拠国	・アジア: 中国(2006/2010)				

(参考) 携帯電話端末機の製品の SAR 値一覧表のウェブサイト

市販されている携帯電話端末機の製品の SAR 値を定期的に収集し一覧表にまとめて表示・更新しているウェブサイト下記がある。他の多くのサイトは製品のメーカーサイトにリンクする方式のため、一覧表示とはなっていない。

(ドイツ連邦環境・自然保護・原子炉安全省の連邦放射線防護局 BfS のウェブサイト)

http://www.bfs.de/de/elektro/strahlenschutz_mobilfunk/schutz/vorsorge/SAR_Werte.pdf

¹ SAR (Specific Absorption Rate 比吸収率): 電磁界に生体をばく露したとき、単位質量あたりに生体組織に吸収される電力 W/kg。約 100 kHz 以上の周波数で、ばく露量測定に使われる。

表 4 各国(地域)の電波防護規制 (1)

国(地域)名		米国 (2013)	カナダ (2010)	フィンランド (2013)	スウェーデン (2013)	ノルウェー (2013)	デンマーク(2013)
規制制定の政府機関		FCC (連邦通信委員会)	連邦保健省、連邦産業省、 連邦人材開発省	社会政策・保健省 (放射線・原子力安全庁)	環境省(放射線安全庁)、 雇用省(労働環境庁)	保健省(放射線防護庁)、 運輸・通信省 (郵便・電気通信庁)	産業・発展省(産業庁)、 雇用省(労働環境庁)、 保健省(保健医薬品局)
規制の 種類	公衆ばく露	法的規制	法的規制	法的規制	・勧告(自主規制)(EEA で強制) ・マイクロ波乾燥規則 (法的規制)	法的規制	勧告(自主規制) (EEA で強制)
	職業ばく露	法的規制	法的規制	法的規制	法的規制	法的規制	勧告 (ICNIRP ガイドライン適用)
規制の根拠		・NCRP ガイドライン ・SAR: ANSI/IEEE 規格	独自 IEEE, ICNIRP 等参考	EU 理事会勧告 (ICNIRP ガイドライン)	・勧告: EU 理事会勧告 (ICNIRP ガイドライン) ・職業ばく露: IRPA/INIRC	EEA(欧州経済領域)協定 EU 理事会勧告(ICNIRP)	EU 指令 1999/5/EC EU 理事会勧告(ICNIRP)
電波防護規制の 法令・ガイドライン (制定/発効年)		・連邦規則集(CFR) 47 電気通信, FCC 規則 Part1-§1.1307(b), §1.1310, Part2-§2.1091, §2.1093 (1996年)(2013年改定)	・ガイドライン:安全規定 6:無 線周波電磁界のばく露制限 (1991年, 1999年改定) ・周波数管理・電気通信政 策文書(1995年以降) ・労働法第 2 部 10.26(1985 年)(1996年修正)	・放射線防護法(592/91): 修正(500/2013)を含む ・非電離放射線ばく露制 限の決議(1474/91): 100 kHz~300 GHz ・一般公衆の非電離放射 線ばく露制限の政令 (294/2002)	・電磁界の公衆ばく露制限の一 般勧告: 旧(SS1 FS 2002:3)を (SSM SF 2008:18)として制定 ・マイクロ波乾燥の規則: 旧(SS1 FS 1995:3, 修正 2005:3)を (SSM FS 2012: 1)として制定 ・高周波電磁界(職業ばく露の 規則)(AFS1987:2)	・無線機器と電気通信端末機 器の EEA 要求事項の規則 (2000.6 の 628 号):最終修正 (2010.4.22 の 581 号)を含む ・放射線の防護と使用の法令 (2000.5.12 の 36 号) ・放射線の防護と使用の規則: (2010.10.29 の 1830 号)が発 効、(2003.11.23 の 1362 号) は失効	・無線機器および電気通 信端末機器と電磁事項の 法令(2000.4.5 の 232 号):修正 (2007.1.10 の 27 号)を含 む ・無線機器および電気通 信端末機器と電磁事項の 政令(2001.9.10 の 791 号)
周波数 範囲	公衆ばく露	300 kHz~100 GHz	3 kHz~300 GHz	0 Hz~300 GHz	0~300 GHz マイクロ波乾燥: 10 MHz~150 GHz	0 Hz~300 GHz	0 Hz~300 GHz
	職業ばく露	300 kHz~100 GHz	3 kHz~300 GHz	100 kHz~300 GHz	3 MHz~300 GHz	0 Hz~300 GHz	0~300 GHz
公衆ばく露 SAR	全身平均	0.08 W/kg	0.08 W/kg	0.08 W/kg	0.08 W/kg	0.08 W/kg	0.08 W/kg
	頭部・胴体 の局所最大	1.6 W/kg (1 g 平均)	1.6 W/kg (1 g 平均)	2 W/kg (10 g 平均)	2 W/kg (10g 平均)	2 W/kg (10g 平均)	2 W/kg (10 g 平均)
公衆ばく露 規制値 ()内: 換算値	基地局 900MHz	(47.6 V/m), 600 μW/cm ²	47.6 V/m, 600 μW/cm ²	41 V/m, 450 μW/cm ²	41 V/m, 450 μW/cm ²	41 V/m, 450 μW/cm ²	41 V/m, 450 μW/cm ²
	基地局 1800MHz	(61.4 V/m), 1000 μW/cm ²	61.4 V/m, 1000 μW/cm ²	58 V/m, 900 μW/cm ²	58 V/m, 900 μW/cm ²	58 V/m, 900 μW/cm ²	58 V/m, 900 μW/cm ²
備考		・FCC の SAR 値の根拠で ある IEEE 規格は 2006 年 4 月に改定されたが、 FCC の SAR 値は未改定	・安全規定 6 は勧告である が、法的文書・規則に引用 され、法的に強制化されて いる	—	・マイクロ波乾燥規則は、北欧特 有の規制 ・旧庁の規則(SS1 FS)を新庁の 規則(SSM SF)として順次制定	・EEA 協定に沿う規則 628 号 により、携帯電話の基地局と端 末機は ICNIRP ガイドライン準 拠が強制化されている	・法令と政令により、携帯 電話の基地局と端末機は ICNIRP ガイドライン準拠 が強制化されている

表5 各国(地域)の電波防護規制 (2)

国(地域)名		オランダ (2013)	ベルギー (2013)	フランス (2013)	英国 (2013)	ドイツ (2013)	オーストリア (2013)
規制制定の政府機関		社会基盤・環境省、 保健・福祉・スポーツ省、 経済省(無線通信庁)	連邦政府(公衆衛生省、経済省、労働省)、 ブリュッセル首都地域政府環境管理機関、 フランドル地域政府環境省、ワロン地域政府環境省	生産再建省、労働・雇用・ 職業訓練・社会対話省 社会政策・保健省、	イングランド公衆衛生庁 (健康保護庁・ 放射線防護部)	連邦環境・自然保護・ 原子炉安全省、 連邦経済・エネルギー省	オーストリア規格協会
規制の 種類	公衆ばく露	勧告(自主規制) (EEAで強制)	アンテナに関し3地域別の法的規制	法的規制	法的規制	法的規制	勧告(自主規制)(法文書等に 引用可能)(EEAで強制)
	職業ばく露	規定なし	規定なし	規定なし	勧告(自主規制)(行政指 導に適用可能)	規定なし	勧告(自主規制)(法文書等に 引用可能)
規制の根拠		EU理事会勧告(IC NIRPガイドライン)	EU理事会勧告(ICNIRPガイドライン)の 参考レベルの50%値または7.3%値	EU理事会勧告 (ICNIRPガイドライン)	EU理事会勧告 (ICNIRPガイドライン)	EU理事会勧告 (ICNIRPガイドライン)	EU理事会勧告 (ICNIRPガイドライン)
電波防護規制の 法令/ガイドライン (制定/発効年)		・国家アンテナ政策: 4省で策定(2000.12) ・国家アンテナ政策枠 組み契約:事業者、政 府・自治体連合間 (2002年) ・一般規則環境法(制 定2008;発効2010) ・国家アンテナ政策枠 組み契約:アンテナ設 置許可不要(2010年)	・2009年最高裁判決:電磁界ばく露防護(環境事 項)は連邦政府ではなく地方政府に管轄権がある ・ブリュッセル:非電離放射線による悪影響や有害 性に対する環境保護の条例(0.1 MHz - 300 GHz)(2007年) ・フランドル:電磁波送信の固定的・一時的設置ア ンテナに関し1995年政令を修正する政令(10 MHz - 10 GHz)(2010年) ・ワロン:固定送信アンテナの非電離放射線による 悪影響や有害性に対する防護の政令(0.1 MHz - 300 GHz)(2009年)	・無線通信施設の公衆 ばく露の政令(2002年) ・携帯電話端末機の適 合評価の省令(2003年) ・携帯電話端末機のばく 露制限値決定の政令 (2003年) ・無線端末機器の SAR 表示に関する政令 (2010年)	・R&TTE規則(2000年) ・電磁界ばく露制限の勧 告(0~300 GHz) (NRPB:Vol.15-2, 2004 年) ・電磁界ばく露制限の科 学的証拠の論評(0~300 GHz)(NRPB: Vol.15 -3, 2004年) ・NRPB勧告(1993年)は 2004年廃止	・連邦環境汚染防止法 (1974年) ・連邦環境汚染防止法の 第26実施政令(1996年) 2013年改定 ・電磁界の制限に対する 証明手続きの政令 (2002年)(2013年改 定)	・準規格 ÖVE/ÖNORM E8850: 0~300 GHzの電界・ 磁界・電磁界-人体ばく露制限 (2006年) - ÖNORM SF1119: 0~30 kHz (1994年)と - ÖNORM SF1120: 30 kHz ~3000 GHz (1992 年)の2規格は2006年廃止
周波数 範囲	公衆ばく露	0~300 GHz	ブリュッセル: 0.1 MHz~300 GHz フランドル: 10 MHz~10 GHz ワロン: 0.1 MHz~300 GHz	0~300 GHz	0~300 GHz	0~300 GHz	0~300 GHz
	職業ばく露	規定なし	規定なし	規定なし	0~300 GHz	規定なし	0~300 GHz
公衆 ばく露 SAR	全身平均	(規定なし)EN準拠: 0.08 W/kg	EN準拠:0.08 W/kg, フランドル:0.001 W/kg	0.08 W/kg	0.08 W/kg	(規定なし)EN準拠: 0.08 W/kg	0.08 W/kg
	頭部・胴体 の局所最大	EN準拠: 2 W/kg (10g 平均)	(連邦政府管轄)EN準拠: 2 W/kg(10g 平均)	2 W/kg (10g 平均)	2 W/kg (10g 平均)	EN準拠: 2 W/kg (10g 平均)	2 W/kg(10g 平均)
公衆 ばく露 規制値	基地局 900MHz	41 V/m, 450 µW/cm ²	ブリュッセル: 3 V/m, 2.4 µW/cm ² フランドル(複数ア): 21 V/m, 113 µW/cm ² フランドル(単一ア): 3 V/m, 2.4 µW/cm ² ワロン(単一ア): 3 V/m, 2.4 µW/cm ²	41 V/m, 450 µW/cm ²	41 V/m, 450 µW/cm ²	41 V/m, 450 µW/cm ²	41 V/m, 450 µW/cm ²
	基地局 1800MHz	58 V/m, 900 µW/cm ²	ブリュッセル: 3 V/m, 2.4 µW/cm ² フランドル(複数ア): 29 V/m, 225 µW/cm ² フランドル(単一ア): 4.2 V/m, 4.7 µW/cm ² ワロン(単一ア): 3 V/m, 2.4 µW/cm ²	58 V/m, 900 µW/cm ²	58 V/m, 900 µW/cm ²	58 V/m, 900 µW/cm ²	58 V/m, 900 µW/cm ²
備考		・2000年以降 ICNIRPガイドラインを 適用(EU指令 1999/5/ECに基づく)	・(複数ア)、(単一ア)は、複数アンテナの累積制限 値、単一アンテナの制限値を示す ・ブリュッセル:同一ビルに3社のアンテナがあると き1社の制限値1.5 V/m (900 MHz) ・ワロン: 0.1 MHz - 300 GHzで一定の3 V/m	・パリ市と携帯電話事業 者が覚書を締結(2003 年), 2006, 2010, 2013 年更新。2G/3G: 5V/m 以下 4G: 7V/m 以下	・R&TTE規則により、携 帯電話の基地局と端末機 はICNIRPガイドライン準 拠が強制されている	・携帯電話事業者の自主 的義務の覚書を連邦政 府と締結(2001年), 2008 年更新, 2012年補足。政 府に研究資金を助成	・地域レベルの法的強制の電 磁界ばく露の規制はないが、 地域によりばく露低減策の勧 告等は行われている

表6 各国(地域)の電波防護規制 (3)

国(地域)名		スイス (2013)	イタリア (2013)	ギリシャ (2013)	スペイン(2013)	ロシア (2013)	ポーランド (13)
規制制定の政府機関		連邦環境・交通・エネルギー・通信省(環境局)、連邦内務省(公衆衛生局)	環境領土海域保護省、保健省、労働・社会政策省	開発・競争力省(原子力委員会)、社会基盤・運輸・ネットワーク省、保健省、環境・エネルギー・気候変動省	保健・社会事業・平等省、産業・エネルギー・観光省	連邦保健省 ロシア放射線防護委員会	環境省、労働・社会政策省
規制の種類	公衆ばく露	法的規制	法的規制	法的規制	法的規制	法的規制	法的規制
	職業ばく露	規定なし	法的規制	規定なし	法的規制	法的規制	法的規制
規制の根拠		ICNIRP+RF(無線周波)でICNIRP 参考レベルの10%値	EU 理事会勧告(ICNIRP ガイドライン)+ICNIRP 参考レベルの10%値など	EU 理事会勧告(ICNIRP ガイドライン)+ICNIRP 参考レベルの70%値、60%値	EU 理事会勧告(ICNIRP ガイドライン)	独自	独自
電波防護規制の法令・ガイドライン(制定/発効年)		・連邦環境保護法(1983年) ・非電離放射線防護政令(2000年)(2012年修正)	・電界、磁界、電磁界のばく露に対する防護枠組み法(2001年) ・100 kHz~300 GHzの電界、磁界、電磁界への国民保護のばく露限界、注意値、品質目標の制定(2003年) ・労働安全衛生に関する統合政令(2008年) ・国内成長のための緊急措置を導入する政令(2012年)	・陸上の稼働アンテナから公衆を防護する措置(0~300 GHz)(Act No.1105/2000) ・全低周波電磁界を放射する稼働装置から公衆を防護する措置(Act No.512/2002) ・電子通信とその他規定(Law No3431/2006) ・各アンテナからの電磁放射公衆ばく露の安全制限値適合のための測定方法(2008) ・電子通信・運輸・公共事業・その他の規定に関する規制(Law No.4070/2012)	・王令 1066/2001: 公衆領域の電波防護、電波の放射制限、放射電波に対する健康保護対策に関する条件制定の規則 ・政令 CTE/23/2002(政令 ITC749/2010 で修正): 無線通信事業者による正確な調査と証明書類の提出に関する条件制定の規則	衛生疫学規則と基準(SanPiN)(2003年): ・生産条件の電磁界 SanPiN2.2.4.1191-03 ・無線技術送信設備の配置と運転の衛生学的要求 SanPiN2.1.8/2.2.4.1383-03 ・陸上移動無線通信手段の配置と運転の衛生学的要求 SanPiN.2.1.8/2.2.4.1190-03	・経済・労働・社会政策省令(No.217/2002, pos.1833) ・環境省令(Journal of Low No.192/2003, pos.1883)
周波数範囲	公衆ばく露	0~300 GHz	0~300 GHz	陸上アンテナ: 0~300 GHz 低周波装置: 0~100 kHz	0~300 GHz	30 kHz~300 GHz	0~300 GHz
	職業ばく露	規定なし(傷害保険会社 SUVA は ICNIRP 準拠の規定を制定し労災に対処)	0~300 GHz	規定なし	0~300 GHz	10 kHz~300 GHz	0~300 GHz
公衆ばく露 SAR	全身平均	(規定なし) 国が自主的に EN 準拠: 0.08 W/kg	(規定なし) EN 準拠: 0.08 W/kg	・一般の場所(70%): 0.056 W/kg ・学校・幼稚園・病院・高齢者施設 300m (60%): 0.048 W/kg	0.08 W/kg	規定なし	(規定なし) EN 準拠: 0.08 W/kg
	頭部・胴体の局所最大	(規定なし) 国が自主的に EN 準拠: 2 W/kg (10 g 平均)	(規定なし) EN 準拠 2 W/kg (10 g 平均)	・一般の場所(70%): 1.4 W/kg ・学校・幼稚園・病院・高齢者施設(60%): 1.2 W/kg	2 W/kg (10 g 平均)	規定なし	(規定なし) EN 準拠: 2 W/kg (10 g 平均)
公衆ばく露規制値()内: 換算値	基地局 900MHz	4.0 V/m, (42 μW/cm ²)	・ばく露限界(絶対に超過不可上限): 20 V/m, 100 μW/cm ² ・注意値(4時間以上滞在の建物内): 6 V/m, 9.5 μW/cm ²	・一般の場所(70%): 35 V/m, 315 μW/cm ² ・学校・幼稚園・病院・高齢者施設 300m (60%): 32 V/m, 270 μW/cm ²	41 V/m, 450 μW/cm ²	(6.14 V/m), 10 μW/cm ² 携帯電話端末機: (19.4 V/m), 100 μW/cm ²	7 V/m, 10 μW/cm ²
	基地局 1800MHz	・6.0 V/m, (9.5 μW/cm ²) ・900 MHz と 1800 MHz の混成: 5.0 V/m, (6.6 μW/cm ²)	・品質目標(戸外の多数集合同所): 6 V/m, 9.5 μW/cm ²	一般の場所(70%): 49 V/m, 629 μW/cm ² ・学校・幼稚園・病院・高齢者施設 300 m (60%): 45 V/m, 540 μW/cm ²	58 V/m, 900 μW/cm ²		
備考		・一般: ICNIRP ガイドラインの参考レベルと同一 ・センシティブ使用場所(OMEN): ICNIP 参考レベルの10%値(長期間滞在する建物内、住居、オフィス、学校、幼稚園、公園、高齢者施設、病院ベッドルームなど)	・100 kHz 以下: ICNIRP 準拠 ・100 kHz~300 GHz: ばく露限界、注意値、品質目標の3レベルで規制 ・「注意値」適用場所: 人々が連続4時間以上滞在する建物内、住宅の屋外付属施設(バルコニー、テラス、中庭。平らな屋上は除く) ・「品質目標」適用場所: 戸外で多数人が頻りに参集する場所(建物、常設施設)	・全陸上アンテナに対し、一般の人々の立ち入る場所: ICNIRP 参考レベルの70%値。学校・幼稚園・病院・高齢者施設から300 m 以内: ICNIRP の60%値。学校等の施設の敷地内では携帯電話基地局の設置は禁止 ・基本制限、電力密度の低減率は70%、60%。高周波域の電界強度・磁界強度の低減率は0.7、0.6の平方根の84%、77% ・低周波機器: ICNIRP ガイドラインの参考レベルと同一	・高周波域で、カスティージャ・ラ・マンチャ、カタルーニャ、ナバーラの3自治州は ICNIRP より厳しい規制: 27 V/m, 900 MHz 38 V/m, 1800 MHz ・2012年憲法裁判所判決: カスティージャ・ラ・マンチャ州の基地局への技術改良の要求は憲法違反	・従来からの法規制を整理して2003年に、上記一連の「衛生疫学規則と基準」として発表	・職業ばく露の規制値は、3区域(安全・中間・危険要因・危険・危険要因)に分けてそれぞれ設定

表7 各国(地域)の電波防護規制 (4)

国(地域)名		チェコ (2013)	ハンガリー (2013)	ルーマニア (2013)	ブルガリア (2013)	クロアチア (2013)	オーストラリア (2010)
規制制定の政府機関		保健省	人材開発省(保健)、 国家開発省(通信)	保健省、労働者・家族・社会 保護省、通信・情報社会 省	保健省、環境・水利省、労働・ 社会政策省	保健・社会福祉省、 海事・運輸・社会基盤省	放射線防護・原子力安全 庁、 通信・メディア庁
規制の 種類	公衆ばく露	法的規制	法的規制	法的規制	法的規制	法的規制	法的規制
	職業ばく露	法的規制	規定なし	法的規制	法的規制	法的規制	法的規制
規制の根拠		EU 理事会勧告 (ICNIRP ガイド ライン)	EU 理事会勧告 (ICNIRP ガイドライン)	ICNIRP ガイドライン CENELEC 規格	ETSI、ACGIH 等の規格	ICNIRP ガイドライン + ICNIRP 参考レベルの 40% 値	ICNIRP ガイドライン
電波防護規制の 法令・ガイドライン (制定/発効年)		・非電離放射線 防護の政府規則 (480/2000) ・非電離放射線 防護の政府規則 (1/2008)	・0~300 GHz 電磁界 公衆ばく露の保健省令 (63/2004 EszCsM) (2008 年 1 部条項廃 止、2011 年修正含む) ・新規無線局設置の無 線許可の通信省令 (6/2004)=	・一般労働安全衛生規則 (1996 年) ・一般労働保護規則 (2002 年) ・0-300 GHz 電磁界公衆 ばく露制限の規則政令 (2006 年) ・電磁界リスクへの労働者 ばく露の安全衛生最低要 件の政令(2006 年)	・公衆ばく露規制:政令 No.9/1991(30 kHz~30 GHz) ・職業ばく露規制:政令 No.7/1999(0~60 kHz)、 ・国家規格: -BNS14525-90 (60 kHz~ 300MHz); -BNS 17137-90 (0.3~300 GHz) (これら 2 つの国家規格は、国立規 格協会では撤回したが、政令 No.7/1999 では引用し使用)	・非電離放射線法(1999.10.7) ・都市・市街地の無線基地局最大許容放射強度の規則 1835(2001.12.14) ・電気通信法(1999.6.30)改定(2003.8.1) ・電磁界防護政令(2003.12.30)改定(NN041/2008) ・R&TTE の電磁界強度制限の規則(NN183/2004) ・電子通信法(NN073/2008)改定(NN080/2013) ・非電離放射線法(NN091/2010) ・電磁界防護政令(NN098/2011) ・R&TTE の電磁界強度制限の規則中止の政令 (NN089/2011)	・無線周波界への最大ばく 露レベルの放射線防護 基準: 3 kHz~300 GHz (2002 年) ・EMR 基準:無線通信 (電磁放射-人体ばく露) 基準(2003 年) -無線通 信法で強制化
周波数 範囲	公衆ばく露	0~1.7 PHz (1 PHz = 10 ¹⁵ Hz)	0~300 GHz	0~300 GHz	30 kHz~30 GHz	0~300 GHz	3 kHz~300 GHz
	職業ばく露	0~1.7 PHz	規定なし	0~300 GHz	0~300 GHz	0~300 GHz	3 kHz~300 GHz
公衆ばく 露 SAR	全身平均	0.08 W/kg	0.08 W/kg	0.08 W/kg	(規定なし) EN 準拠: 0.08 W/kg	0.08 W/kg	0.08 W/kg
	頭部・胴体 の局所最大	2 W/kg (10 g 平 均)	2 W/kg (10 g 平均)	2 W/kg (10 g 平均)	(規定なし) EN 準拠 2 W/kg (10g 平均)	2 W/kg (10 g 平均)	2 W/kg (10 g 平均)
公衆ばく 露 規制値 ()内: 換算値	基地局 900MHz	41 V/m, 450 µW/cm ²	41 V/m, 450 µW/cm ²	41 V/m, 450 µW/cm ²	(6.14 V/m), 10 µW/cm ²	・センシティブティ増大場所 16.5 V/m, 72 µW/cm ² ・その他の場所 41 V/m, 450 µW/cm ²	41 V/m, 450 µW/cm ²
	基地局 1800MHz	58 V/m, 900 µW/cm ²	58 V/m, 900 µW/cm ²	58 V/m, 900 µW/cm ²		・センシティブティ増大場所 23.3 V/m, 144 µW/cm ² ・その他の場所 58 V/m, 900 µW/cm ²	58 V/m, 900 µW/cm ²
備考		-	-	-	・国家規格は強制ではないが、 上記規格は政令に引用され法 的効力を有す	・センシティブティ増大場所(公共建物、住宅、 学校、幼稚園、病院、遊園地等): ICNIRP 参考 レベルの 40% 値(電力密度は 16% 値)。その 他の場所: ICNIRP の参考レベルと同一	・SAR 測定法の欧州規格 が EN62209-1 と変更され たのに伴い、EMR 基準の 改定草案が 2006 年末に 公表された

表 8 各国(地域)の電波防護規制 (5)

国(地域)名		ニュージーランド (2010)	韓国 (2010)	中国 (2010)	台湾 (2006)	シンガポール (2006)	フィリピン (2010)
規制制定の政府機関		保健省、環境省 ニュージーランド規格協会	情報通信部、 産業資源部、労働部	衛生部、国家環境保護局、 工業情報化部	環境保護署	保健省	保健省 (健康機器技術部)
規制の 種類	公衆ばく露	勧告(自主規制) (一部自治体規則に適用)	法的規制	法的規制	勧告(自主規制)	勧告(自主規制)	法的規制
	職業ばく露	勧告(自主規制)	勧告(自主規制)	法的規制	規定なし	勧告(自主規制)	法的規制
規制の根拠		ICNIRP ガイドライン	・ICNIRP ガイドライン ・SAR:ANSI/IEEE 規格	独自データ	ICNIRP ガイドライン	ICNIRP ガイドライン	ICNIRP ガイドライン
電波防護規制の 法令・ガイドライン (制定/発効年)		・基準 NZS2772.1-1999 無線周波界 Part1 最大 ばく露レベル: 3kHz ~ 300GHz (1999年) ・無線周波送信機の影響 管理の国家ガイドライン (2000年) ・資源管理(通信機器に 関する国家環境基準)規 則 2008(2008.9.8)	・電磁界に対するばく露の 人体防護基準(2002年) ・EMF 測定方法(〃) ・SAR 測定方法(〃) ・基準を適用する対象機器 (〃) ・電波法実行規則 26 条電 磁波強度時期とその方法 (2007.6.27) ・電波法実行令 40 条 2 電 磁波強度の報告対象無線 局基準(2007.6.27)	・環境電磁波衛生標準 (1988年) ・電磁放射防護規程(1988 年) ・超高周波作業場所衛生 標準(1989年) ・作業場所超短波輻射衛 生標準(1989) ・マイクロ波及び超短波通 信設備輻射安全要求 (1991) ・作業場所周波数電界衛 生標準(1996)	・非游離輻射環境建議値 の勧告声明(2001.1.12 環署空字 3219 号公告)	・電磁界ばく露に関する 安全衛生ガイドライン (2001年)	・3 kHz~300 GHz 無線周 波放射に対する放射線防 護基準(2004.10.11、 修正 2005.2.14)
周波数 範囲	公衆ばく露	3 kHz~300 GHz	0~300 GHz	100 kHz~300 GHz	0~300 GHz	50 Hz~26 GHz	3 kHz~300 GHz
	職業ばく露	3 kHz~300 GHz	0~300 GHz	100 kHz~300 GHz	規定なし	50 Hz~26 GHz	3 kHz~300 GHz
公衆ばく 露 SAR	全身平均	0.08 W/kg	0.08 W/kg	0.02 W/kg	規定なし	0.08 W/kg	0.08 W/kg
	頭部・胴体 の局所最大	2 W/kg (10 g 平均)	1.6 W/kg (1 g 平均)	規定なし	規定なし	2 W/kg (10 g 平均)	2 W/kg (10 g 平均)
公衆ばく 露 規制値 ()内: 換算値	基地局 900MHz	41V/m, 450 μW/cm ²	41 V/m, 450 μW/cm ²	12 V/m, (38 μW/cm ²)	41 V/m, 450 μW/cm ²	41 V/m, 450 μW/cm ²	41 V/m, 450 μW/cm ²
	基地局 1800MHz	58 V/m, 900 μW/cm ²	58 V/m, 900 μW/cm ²		58 V/m, 900 μW/cm ²	58 V/m, 900 μW/cm ²	58 V/m, 900 μW/cm ²
備考		・基準 NZS2772.1-1999 は、いくつかの自治体の 都市計画の規則にも適用 されている	・現行の電磁界防護基準 の改定が検討されている ・電波法改正案が 2006 年 に議会に提出された	・2005 年末提出の携帯電 話基準草案で SAR 2W/kg を提案	・300 kHz 以上の電磁界 の測定は ANSI/IEEE C95.3 -1992 に基づく	・放射線防護法(1991 年)に紐込むための放射 線防護(無線周波放射) 規則草案を作成し、法 制化を準備中	・参考レベルの測定方法 は、オーストラリア測定基準 AS2772.2- 1998 を適用

表9 各国(地域)の電波防護規制 (6)

国(地域)名		マレーシア (2006)	タイ (2010)	インド (2010)	トルコ (2010)	ブラジル (2010)	南アフリカ (2010)
規制制定の政府機関		エネルギー・水・通信省 (通信・マルチメディア委員会)、保健省	タイ国立 電気通信委員会	通信・情報技術省 電気通信庁(テレコム・エ ンジニアリング・センター)	運輸通信省 情報技術通信庁	電気通信庁	保健省
規制の 種類	公衆ばく露	勧告(自主規制)	法的規制	勧告(自主規制)	法的規制	法的規制	勧告(自主規制)
	職業ばく露	勧告(自主規制)	法的規制	勧告(自主規制)	規定なし	法的規制	勧告(自主規制)
規制の根拠		ICNIRP ガイドライン	ICNIRP ガイドライン	ICNIRP ガイドライン	ICNIRP ガイドライン+1装置 では参考レベルの25%値	ICNIRP ガイドライン	ICNIRP ガイドライン
電波防護規制の 法令・ガイドライン (制定/発効年)		・無線業界自主基準:携 帯電話無線基地局サイ トのRF(無線周波)放射 に関する技術基準(2006 年)	・ガイドライン「通信機器 使用の人体への安全基 準について」を制定 (2007.5.5)	・携帯電話事業免許発 行ガイドライン(2000年) ・ICNIRP ガイドラインを 採用(2008年、2010年)	・10kHz~60GHzで稼動す る固定電気通信機器の電 磁界強度の制限値に関 する決定・測定方法・監 査の規則(2001.7.12) ・電気通信法(2008.11.10)	・電気通信庁決議303号 別紙:9kHz~300GHz 電界・磁界・電磁界のば く露制限規則(2002.7.2)	・ICNIRP ガイドラインを 適用
周波数 範囲	公衆ばく露	0~300 GHz	9 kHz~300 GHz	0~300 GHz	10 kHz~60 GHz	9 kHz~300 GHz	0~300 GHz
	職業ばく露	0~300 GHz	9 kHz~300 GHz	0~300 GHz	規定なし	9 kHz~300 GHz	0~300 GHz
公衆ばく露 SAR	全身平均	0.08 W/kg	0.08 W/kg	0.08 W/kg	規定なし	0.08 W/kg	0.08 W/kg
	頭部・胴体 の局所最大	2 W/kg (10 g 平均)	2 W/kg (10 g 平均)	2 W/kg (10 g 平均)	規定なし	2 W/kg (10 g 平均)	2 W/kg (10 g 平均)
公衆ばく露 規制値	基地局 900MHz	41 V/m, 450 μW/cm ²	41 V/m, 450 μW/cm ²	41 V/m, 450 μW/cm ²	41 or 10 V/m 450 or 28 μW/cm ²	41 V/m, 450 μW/cm ²	41 V/m, 450 μW/cm ²
	基地局 1800MHz	58 V/m, 900 μW/cm ²	58 V/m, 900 μW/cm ²	58 V/m, 900 μW/cm ²	58 or 14 V/m 900 or 56 μW/cm ²	58 V/m, 900 μW/cm ²	58 V/m, 900 μW/cm ²
備考		・通信・マルチメディア委 員会は、通信業界の ICNIRP ガイドライン準 拠の自主規制を促進す るよう勧告 ・保健省は、電磁界のば く露測定を推進	・携帯電話の取扱い説 明書に SAR の表記は 義務付けられていない	・2006年7月:携帯電話 基地局の健康影響調査 委員会が最初の報告	装置(基地局)数による規制: ・単一装置:ICNIRP ガイ ドラインの参考レベルの 25%値以下 ・複数装置:累積ばく露 値が参考レベル以下	・保健省管轄下の作業 グループが、ばく露制 限值や疫学研究などを 検討	・医療分野以外での電 磁界適用管理の新規 則を準備中

表 10 ICNIRP ガイドライン(300 GHz 迄:1998 年)
電磁界公衆ばく露の参考レベル制限値(無擾乱 実効値)

周波数範囲	電界強度 E(V/m)	磁界強度 H(A/m)	磁束密度 B(μT)	等価表面波電力密度 Seq(W/m ²)
1 Hz まで	—	3.2×10^4	4×10^4	—
1~8 Hz	10,000	$3.2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	—
8~25 Hz	10,000	$4,000/f$	$5,000/f$	—
0.025~0.8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	—
0.8~3 kHz	$250/f$	5	6.25	—
3~150 kHz	87	5	6.25	—
0.15~1 MHz	87	$0.73/f$	$0.92/f$	—
1~10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0.73/f$	$0.92/f$	—
10~400 MHz	28	0.073	0.092	2
400~2000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$0.0046f^{1/2}$	$f/200$
2~300 GHz	61	0.16	0.20	10

- ・表中計算式の f は周波数範囲に記載の単位の周波数。
- ・100 kHz~10 GHz では、Seq、E²、H²、B²、は、任意の 6 分間の平均をとる。
- ・10 GHz 以上では、Seq、E²、H²、B²、は、 $68/f^{1.05}$ 分間の平均をとる(f の単位は GHz)。

表 11 ICNIRP ガイドライン(300 GHz 迄:1998 年)
電磁界職業ばく露の参考レベル制限値(無擾乱 実効値)

周波数範囲	電界強度 E(V/m)	磁界強度 H(A/m)	磁束密度 B(μT)	等価表面波電力密度 Seq(W/m ²)
1 Hz まで	—	1.63×10^5	2×10^5	—
1~8 Hz	20,000	$1.63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$	—
8~25 Hz	20,000	$2 \times 10^4/f$	$2.5 \times 10^4/f$	—
0.025~0.82 kHz	$500/f$	$20/f$	$25/f$	—
0.82~65 kHz	610	24.4	30.7	—
0.065~1 MHz	610	$1.6/f$	$2.0/f$	—
1~10 MHz	$610/f$	$1.6/f$	$2.0/f$	—
10~400 MHz	61	0.16	0.2	10
400~2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$0.01f^{1/2}$	$f/40$
2~300 GHz	137	0.36	0.45	50

- ・表中計算式の f は周波数範囲に記載の単位の周波数。
- ・100 kHz~10 GHz では、Seq、E²、H²、B²、は、任意の 6 分間の平均をとる。
- ・10 GHz 以上では、Seq、E²、H²、B²、は、 $68/f^{1.05}$ 分間の平均をとる(f の単位は GHz)。

出典:「時間変化する電界・磁界・電磁界へのばく露制限のためのガイドライン (300 GHz まで)」Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). Health Physics 74 (4): 494-522; 1998.

<http://www.icnirp.de/PubEMF.htm>

表 12 ICNIRP ガイドライン(1 Hz-100 kHz:2010 年)
電磁界公衆ばく露の参考レベル制限値(無擾乱 実効値)

周波数範囲	電界強度 E(kV/m)	磁界強度 H(A/m)	磁束密度 B(μ T)
1 Hz~8 Hz	5	32,000/f ²	40,000 / f ²
8 Hz~25 Hz	5	4,000/f	5,000 / f
25 Hz~50 Hz	5	160	200
50 Hz~400 Hz	250/ f	160	200
400 Hz~3 kHz	250/ f	64,000/f	80,000 / f
3 kHz~10 MHz	0.083	21	27

・f は Hz を単位とした周波数。

・100 kHz 超の周波数では RF(無線周波)特有の基本制限を追加して考慮する必要がある。

表 13 ICNIRP ガイドライン(1 Hz-100 kHz:2010 年)
電磁界職業ばく露の参考レベル制限値(無擾乱 実効値)

周波数範囲	電界強度 E(kV/m)	磁界強度 H(A/m)	磁束密度 B(μ T)
1~8 Hz	20	163,000/f ²	200,000 / f ²
8~25 Hz	20	20,000/f	25,000 / f
25~300 Hz	500/f	800	1,000
300 Hz~3 kHz	500/ f	240,000/f	300,000 / f
3 kHz~10 MHz	0.17	80	100

・f は Hz を単位とした周波数。

・100 kHz 超の周波数では RF(無線周波)特有の基本制限を追加して考慮する必要がある。

出典:「時間変化する電界・磁界へのばく露制限のためのガイドライン(1 Hz - 100 kHz)」
Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields
(1 Hz - 100 kHz). Health Physics 99(6):818-836; 2010.

なお、以上の ICNIRP ガイドラインの他に次のガイドラインが発表されているが、ここでは、本報告書の調査目的(無線周波、高周波領域)に直接的な関係がないので、省略する。

「静磁界へのばく露制限に関するガイドライン」Guidelines on Limits of Exposure to Static
Magnetic Fields. Health Physics 96(4):504-514; 2009.

第3章 安全性評価に関する国際研究協力の推進 【事務局】

3.1 国際機関との協力

前述の通り、電磁界の健康リスク評価は、WHO や ICNIRP 等の国際機関と連携する枠組みで推進されており、我が国からも相応の貢献・協力を行うことが必要である。今後、我が国は、これまでと同様に、電波の安全性に関する調査研究を積極的に推進し、その成果を WHO に入力していくとともに、国際機関の調査や運営について必要な協力を行っていくことも検討すべきである。

3.2 電磁界の健康影響に関する国際コーディネイト会合(GLORE 会合)

電磁界の健康影響に関する国際コーディネイト会合(GLObal Coordination of RFsearch and Health Policy。以下、^グ^ロ^アGLORE会合という。)会合は、各国の専門家・行政官により、電波の生体影響に関する最新の研究状況及び各国政府による施策の動向等について発表を行うとともに、今後の研究及び施策の方向性等について意見交換を行うことにより、当該分野に関し国際協調の推進を図ることを目的として平成9年より毎年開催されている。(我が国の呼びかけにより平成9年に日本・韓国で開催し、平成11年よりEUが、平成13年より米国が参加して現在のかたちに至っている。

本会合は、電磁界の健康リスク評価・管理を国際的な枠組みで推進していく上で非常に重要な機会であると考えられるため、今後とも我が国から積極的に参画していくとともに、相応の貢献をしていくべきである。

これまでの会合の概要等は次のとおり。

※平成9年～平成18年の会合の概要は、生体電磁環境研究推進委員会報告書に記載のとおり。

開催年	開催日	場所
2007	11月26、27日	ベルギー ブリュッセル
2008	12月8、9日	米国 シカゴ
2009	11月19、20日	オーストラリア メルボルン
2010	11月29、30日	フランス パリ
2011	11月21、22日	韓国 ソウル
2012	11月15、16日	日本 東京
2013	11月14、15日	米国 ワシントン

第4章 電波防護指針の評価・検証

4.1 長期的影響の可能性(熱作用・刺激作用以外の影響への懸念)についての考え方 【牛山主査】

この項目においては、第3章までに記載した研究動向、国際機関による見解等を踏まえ、熱作用・刺激作用以外の長期的影響の可能性についての考え方について見解を示す。熱作用・

刺激作用については防護指針で十分な安全率を考慮し、その指針値が定められているため、ここでは、防護指針値よりも低い電磁環境に長期間生体が晒された際の影響を長期的影響と考える。

長期的影響については、現行の電波防護指針において、以下の様に記載されている。

電波防護指針(平成2年、1990年)「この生体作用のうち、熱作用および刺激作用については多くの研究の蓄積があり、(中略)しかし、熱作用、刺激作用以外のその他の作用については、生体内の現象と関連した状態で確認されたものではなく、人の健康に支障を及ぼすという事実も示されていない。」

また、国際非電離放射線防護委員会の「時間変化する電界、磁界及び電磁界によるばく露を制限するためのガイドライン(300GHzまで)」1998年においても同様である。しかし、科学の進展において健康を脅かすことが想定される新たな確固とした影響が認められれば、それを参照し防護指針値やガイドライン値に反映させるべきであることは当然である。

平成17年の生体電磁環境推進委員会の報告書において、それまでの研究および各国の動向を踏まえて、「我が国をはじめ国際的な専門機関では、電波防護指針値を下回る強さの電波によって健康に悪影響を及ぼすという確固たる証拠は認められないとの認識で一致している。」とした、本中間報告書においては、それ以降の研究進展をレビューした。

詳細な検討は第2章の研究の動向の各項を参照して頂きたいが、「疫学」「細胞実験」「動物実験」「ヒトを対象とした実験」のこれらのいずれにおいても、熱作用・刺激作用以外の長期的なばく露による影響の報告は非常に限定されたものであり、十分な再現性を確認できていないものと結論されている。

疫学では脳腫瘍と携帯電話の使用に関するインターフォン研究での結果を主たる根拠として、国際がん研究機関(IARC)が、無線周波電磁界は「ヒトに対して発がん性があるかも知れない」(グループ2B)に分類した。このカテゴリーは、因果関係は信頼できると考えられるが、偶然、バイアス、または交絡因子を根拠ある確信を持って排除できない場合に用いられるものであること、またインターフォン研究の研究者らも、バイアスと誤差があるためにこれらの結論の強固さは限定的であり、因果的な解釈はできないと結論していること、また動物研究の結果は、RF電磁界の長期的ばく露でのがんリスク上昇がないことを一貫して示していることから判断すると、長期的影響の可能性は今後も注視が必要である。

動物実験では、遺伝毒性、がん、生殖系、免疫系については長期影響を認めるものはなく、防護指針よりも低いSARでの実験においては酸化ストレスの増加を認めている研究があるが、酸化ストレスそのものは健康影響とはみなせず、健康影響との因果関係については今後の検討を要する課題である。

細胞研究では、携帯電話に用いられている周波数帯に関しては、多くの遺伝毒性を指標とした研究が論文発表されているが、非熱的ばく露環境において、そのほとんどはネガティブな結果である。また非遺伝毒性を指標とした研究では、免疫機能、ストレスタンパクの発現など、一部において陽性効果の報告はあるが、精度の高い再現実験で確かめられてはいない現状であ

る。

以上より、現時点における科学的知見を総合的に考慮した結果として、我が国における電波防護指針に対して、熱作用・刺激作用以外の影響を考慮した長期的影響の可能性について配慮するする必要はないと考えられる。

4.2. 電磁過敏症についての考え方 【寺尾構成員】

一般人口の中には、携帯電話などから発生する電磁場へのばく露を“感知”できる、あるいはばく露に“過敏”に反応する人が一部存在するとされる。そのような人は“過敏”でない他の多くの人と比較して、例えば携帯端末の使用に伴って頭痛、皮膚のかゆみ、不快感・不安感、温かい感覚などの非特異的な症状を、より頻繁にかつ強い強度で感じるという。しかし、このような電磁場に対する“過敏”の訴えは多くの場合自己申告によるものであり、そもそも電磁場“過敏”症というものが科学的に存在するかどうか疑問を呈する研究者も多い。実際、このような電磁場に“過敏”な被験者は、携帯電話の使用に伴う電磁場へのばく露により、自律神経の調整機能、認知機能などが影響を受けやすいという報告がある一方で(Sandstrom et al., 2003)、このような症状の出現は電磁場のばく露の有無に関わりなく起こるとする研究もあり(Röösli, 2008)、いまだに議論のあるところである。

電磁場のヒトへの影響の項でも述べたように、これまで行われた三つの provocation study(電磁波のばく露によりどのような主観的症状が誘発されるかを見るタイプの研究)では、電磁場に“過敏”とされる被験者も扱っている(Rubin et al (2006)、Eltiti et al (2007)、Furubayashi et al(2009))。いずれの研究でも、実ばく露とシャムばく露の双方を行っているが、電磁場に“過敏”な被験者が電磁場を“知覚”できる、あるいは電磁場に対して“過敏”であると自己申告をしているにもかかわらず、実験結果からは明らかに実ばく露とシャムばく露を知覚できていた、あるいは実ばく露に対してより過敏であるという証拠は得られなかった。

これらの3つの研究のうち、Furubayashi ら(2009)の研究は double blind cross over design により詳細な検討を行っている。被験者・検査者ともにわからない条件下で、50%の確率で被験者に対して電磁場の実ばく露かシャムばく露を行った。被験者に電磁場のばく露の有無を当てさせたところ、電磁場に“過敏”とされる被験者では正解率が $52 \pm 8\%$ であったのに対し、過敏でない一般の被験者では $49 \pm 5\%$ と差がなかった。いずれの群の正解率も、二つの答えのうち一つを当てずっぽうに答えているのと同等の成績であった。従って電磁波に“過敏”な被験者は、そうでない被験者と比較して、必ずしも正確に電磁波のばく露を感知しているわけではない。

また同じ二群の被験者に対し、ばく露前後で不快感を評価させたところ、電磁波過敏群では、コントロール群に比較してばく露前後とも一貫して不快感が強かったが、この不快感の程度はいずれの群でも実ばく露、シャムばく露の前後でとくに変化しなかった。電磁波の代わりにノイズ音のばく露で同様の実験を行った場合、いずれの群でも、ばく露後はばく露前より不快感が強くなった。また電磁場過敏症群では、ばく露前後とも一貫して不快感がコントロール群より強かった。また同じ二つの被験者群に対して、心拍数や手指の血流などの生理視標を測定した

が、電磁波に“過敏”な被験者は、そうでない被験者と比較して、ばく露に対する症状や自律神経の生理指標の反応の程度が強いわけではなかった。

以上より電磁場のばく露に対して”過敏”であると自己申告する人が一部存在するとはいえ、これらの被験者が実際に電磁場を感知でき、これにより影響を受けやすいことを示す明らかな科学的証拠は今のところないといわなければならない。そのため電磁場に対する“過敏”症は、今回のような人体への電磁場の影響の検討において、科学的な研究の対象にならないのではないか、とする意見もある。

一方で、携帯電話への過敏性を呈する被験者は、本人の自己申告に基づく集計とはいえ、スウェーデンの報告では実に人口の1.5%(Sandstrom et al. 2003)、アメリカ・カリフォルニア州の調査では3.2%(Hillert et al. 2002)にも達するといわれ、近年その数も増えつつあるという。つまり一般人口の中に電磁場に“過敏”という訴えをする人が無視できない程度に存在すると考えられ、このような人がとりわけ電磁場ばく露に不安を感じているのも事実である。大部分の人は、便利さの故に日常生活でほとんど気にせず携帯電話を使用している。しかし電磁波に“過敏”なこれらの人たちは、携帯電話を安心して使用できない、あるいは電磁場そのものに反対する立場をとる人も多いと思われる。このような被験者は、特有の性格特徴があり、過敏症のない人に比べて電磁波ばく露に限らず、さまざまな状況で強い不安感や主観的なwell-beingの低下を訴えやすいとの報告がある。こういう人に対して臨床的に今後不安、苦しみを取り除く対応が求められるとともに、電磁場の脳への影響について客観的・科学的に実態を捉え、これらの人の不安を取り除くべくしっかりと科学的根拠のあるデータを提示していく努力を続けていくことが必要であると考えられる。

参考文献

Eltiti S, Wallace D, Ridgewell A, Zougkou K, Russo R, Sepulveda F, Mirshekar-Syahkal D, Rasor P, Deeble R, Fox E. Does short-term exposure to mobile phone base station signals increase symptoms in individuals who report sensitivity to electromagnetic fields? A double-blind randomised provocation study. *Environ Health Perspect* 2007; 115:1603-1608.

Furubayashi T, Ushiyama A, Terao Y, Mizuno Y, Shirasawa K, Pongpaibool P, Simba AY, Wake K, Nishikawa M, Miyawaki K, Yasuda A, Uchiyama M, Yamashita HK, Masuda H, Hirota S, Takahashi M, Okano T, Inomata-Terada S, Sokejima S, Maruyama E, Watanabe S, Taki M, Ohkubo C, Ugawa Y. Effects of short-term W-CDMA mobile phone base station exposure on women with or without mobile phone related symptoms. *Bioelectromagnetics* 2009;30:100-13.

Hillert L, Flato S, Georgellis A, Arnetz BB, Kolmodin-Hedman B. Environmental illness: Fatigue and cholinesterase activity in patients reporting hypersensitivity to electricity. *Environ Res* 2001;85:200-206.

Levallois P, Neutra R, Lee G, Hristova L. Study of self-reported hypersensitivity to electromagnetic fields in California. *Environ Health Perspect* 2002;110(Suppl 4):619-623.

Regel SJ, Negovetic S, Roosli M, Berdinas V, Schuderer J, Huss A, Lott U, Kuster N, Achermann P. UMTS base station-like exposure, well-being, and cognitive performance. Environ Health Perspect 2006;114:1270-1275.

Röösli M. Radiofrequency electromagnetic field exposure and non-specific symptoms of ill health; A systematic review. Environ Res 2008;107:277-287.

Rubin GJ, Das Munshi J, Wessely S. Electromagnetic hypersensitivity: A systematic review of provocation studies. Psychosom Med 2005;67:224-232.

Sandstrom M, Lyskov E, Hornsten R, Hansson Mild K, Wiklund U, Rask P, Klucharev V, Stenberg B, Bjerle P. Holter ECG monitoring in patients with perceived electrical hypersensitivity. Int J Psychophysiol 2003;49:227-235.

4.3. 「予防原則」に関する考え方 【西澤構成員・事務局】

4.3.1. Precautionary Principle について

「予防原則」について言及する前に、「予防」という語は、英語では“prevention”と“precaution”の2種類の概念が存在していること、一方でそれらに対して、現状、単一の「予防」という日本語が当てられていることを認識する必要がある。“prevention”は、ハザードが科学的に同定されている、確立されたリスクに対処する場合の「予防」であり、インフルエンザに対する予防注射がこれに相当する。“precaution”は、ハザードは科学的に同定されていないが、その可能性も否定できない、不確実性が大きいリスクに対処する場合の対応である。日本語でそのニュアンスを正しく伝えたとすれば、「念のため」や「用心のため」といった訳語がより適切であると考えられる。

上記の用語の混同により、“Precautionary Principle”及び“Preventive Principle”は同様に「予防原則」と一律に和訳されることが多く、これらの概念の適切な理解が妨げられている。正しくは、“Preventive Principle”は科学的に確立されたリスクに対する政策の検討に用いられる概念であり、“Precautionary Principle”は、科学的に確立されていないリスクに対処する政策の検討に用いられる概念であり、両者は大きく異なるものである。以上を勘案し、本報告書では、Precautionary principle については「用心のための原則」という訳語を採用することとする。

「用心のための原則(Precautionary Principle)」の概念は、欧州各国を中心に、環境保護、食品安全等の分野で政策検討に際して用いられている。これは、科学的な不確実性が大きな場合のリスクに対処するために適用される政策で、用心のために、潜在的に重大となり得るリスクに対しては、科学的な研究結果を待たずに政策上の対策を取ることが必要であるとの考え方である。現在確認されているリスクだけではなく、未知のリスクを未然に防ぐために、科学的な根拠から推測し、法的な抑制をかけることで、念のために我々の社会、環境、健康を守る考え方である。

EU では、2002 年、COMMUNICATION FROM THE COMMISSION on the precautionary principle(2000.02.02)で、用心のための原則の適用に関するガイドラインを提示している。これに

よれば、予防原則とは、より科学的に根拠のある対策を裏付けるデータが得られるまでの間、健康に対して重大となり得る可能性を秘めた脅威に対し暫定的な対策を立案するために使われるものであり、コスト・便益への考慮を含めたリスク研究の評価を必要とする点で「リスク重視 (risk-oriented)」の原則と理解される。詳細には、下記のとおり用心のための原則の適用について多くの留意点があると記載されている。

- ・ 選択された防護水準に見合うものであること。
- ・ その適用に差別がないこと、つまり、類似する状況を同等に扱うこと。
- ・ 既に実施中の同等の措置と一貫性があること、つまり、全ての科学的データが利用可能な同等の分野において、すでに講じられている対策と、その適用範囲と性質において同等であること。
- ・ 対策を実施する場合と実施しない場合の、コストと期待できる便益の検討(適切かつ可能であるならばコスト・便益の経済分析を含む)にもとづくこと。
- ・ 本質的に暫定的であること、つまり新たな科学的データに照らした再検討を必要条件とすること。
- ・ より包括的なリスク評価に必要な科学的証拠を提出する責任を付与できること。
- ・ 上記のとおり、Precaution Principle は科学的なリスク評価自体とは関係するものではなく、あくまでリスク評価を踏まえたリスク管理の際に使用される概念である。そのため、Precaution Principle を適用するかどうかは政策的判断が絡んでくることになる。
- ・ そのため、政治的な恣意的な判断が含まれないよう、「念のための措置」として、例えば貿易等において Precaution Principle を適用することには注意しなければならない。また、Precaution Principle を適用する時には、経済的な合理性も考えなければならないと先述の EU の文書には明確に書かれているが、Precaution Principle、「予防原則」という言葉だけが独り歩きしている傾向がある。
- ・ 例を挙げると、EU がアメリカからの遺伝子組換え作物を輸入しないと決めた時、Precaution Principle が根拠とされた。遺伝子組換え作物の安全性がまだ科学的に分からないとして、Precaution Principle を適用して輸入を禁止した。それから 8 年後に飼料用として輸入を解禁した。その間にアメリカは輸入禁止措置を不服として WHO に提訴している。大国どうしの政治的な問題に発展したことがある。
- ・ 科学的にそのリスクの大きさが不明確、不確実なリスクに対する方策を考える場合、「念のため」という考えが出てくる。しかし、先述の EU のガイドラインにも記載のとおり、リスク管理や政策判断はあくまでも科学的評価に基づいて行われる必要があり、上記の事項を熟慮することが必要である。

4.3.2. 電波の安全性に関する政策と Precautionary Principle の適用について

電磁界の健康影響については、閾値以上の電磁界ばく露による熱作用、刺激作用については科学的に確立しているが、それ以外の人体への好ましくない影響については、第 1 章で確認

した通り、これまでの研究の積み重ねにおいてその証拠は見つかっていない。

EU では、1998 年の理事会勧告(1999/519/EC)において WHO も推奨する ICNIRP ガイドラインの基準値の採用を勧告しており、2002年に電磁界ばく露に Precautionary Principle を適用すべきかの検討が行われた結果、ICNIRP ガイドラインの基準値以内の電磁界ばく露にはリスクの存在が確認されていない為、適用されないとの判断が示されている。

一方、現在は、EU の幾つかの国において、「用心のための原則」に基づき ICNIRP ガイドラインにさらに安全係数をかけた厳しい安全基準が採用されているが、その際の上記の留意事項についての検討状況、具体的な基準値の根拠については、必ずしも明確ではない。

WHO は、2000 年に公表した背景説明資料「コーショナリ政策」において、電磁界ばく露の健康影響への懸念に対する用心のための原則の適用は、以下の理由から困難が伴うと指摘している。

■WHO 背景説明資料「コーショナリ政策」2000 年 3 月(抜粋)

電磁界ばく露に関する慎重なる回避やその他のコーショナリ政策(Cautious Policies)は、これらの政策は「科学的に立証されていないリスクに対して特例的な防護を提供するもの」と信じている多くの市民から好評を得ます。しかし、そのようなやり方には、その政策の適用上の多くの問題があります。第一の問題点は、推奨ガイドラインを下回るレベルの電磁界への長期間ばく露によるハザードの明らかな証拠がないこと、または、仮にハザードがあるとしてもその性質が何もわかっていないことです。コーショナリ政策に踏み切るために必要とされる証拠の重みは、ばく露ガイドラインの設定に必要とされる証拠の重みより明らかに低いものであるとしても、少なくとも、ハザード(有害性・障害性)とするものが明確である必要がありますし、そのハザードが起きるとされる条件について何らかの理解ができていることが必要です。

もうひとつの問題点は、近代社会では至るところに、非常に多様なレベルの、そして幅広い周波数範囲にわたる電磁界ばく露が存在することです。したがって、一貫性と公平性があるコーショナリ政策を作り上げることは困難です。例えば、典型的な都市環境では、低出力の通信用送信機から非常に高出力の放送用送信機まで、多数の無線周波の送信機が存在しています。同じ都市地域に、携帯電話基地局よりはるかに高出力の発生源が存在することを考えると、携帯電話基地局から発生する無線周波電磁界へのばく露を最小化する、公正で一貫性のあるコーショナリ政策を立案することは困難です。実際、携帯電話アンテナ塔に対するコーショナリ政策の実施の試みは、典型的には、その環境中のそれ以外の(さらに強い)無線周波エネルギー発生源に注意を払うことなく、ばらばらな根拠にもとづいて行われています。

(以下略)

我が国の対応としては、電磁界の健康影響について、閾値以上の電磁界ばく露による熱作用、刺激作用は科学的に確立しているものであるため、それらの作用から人体を防護するために、WHO が推奨する ICNIRP ガイドラインと同等の電波防護指針により電波ばく露量を制限する

対応をしている。電波防護指針は、短期間から長期間の電波ばく露により生じ得るあらゆる危険を、十分な安全係数をもたせて回避するように作成されている。

また、平成 19 年の生体電磁環境研究推進委員会において、予防原則 (Pre-cautionary Principle) については、下記の考え方が示されている。

■生体電磁環境研究推進委員会 報告書 (平成 19 年4月 27 日) (抜粋)

第6章 結論

6. 2 社会的に関心のある事項への考え方

(5) 予防原則 (Pre-cautionary Principle) に対する考え方

最近、「予防原則 (Precautionary Principle)」や「用心のための対策 (Precautionary Measures)」といった考えに基づいて、非常に低レベルの電波防護指針値を採用すべきとの意見がある。

しかし、電波に対する予防的措置は、十分な配慮と熟慮があつて初めて採用すべきで、かつ、ここでの基本原則は、予防的措置の採用によって、リスクの科学的評価とこれに基づき設定された電波防護指針によるばく露制限を意味がないものにしないことが前提となる。WHO も予防的措置として、科学的な根拠に基づかない低レベルの電波防護指針値を採用することに否定的な見解を示している。

現状に立って予防的措置を模索すれば、まずは電波の健康影響、つまり危険があるのであればそれは何かを明確にする研究を今後も継続する事が最優先されるべきである。したがって、現時点では研究を継続することが大事である。

この報告書以降の研究結果においても、第 1 章で確認した通り、これまでに科学的に確立された刺激作用・熱作用以外の作用の確からしさの高まる結果が無かったこと等を勘案すると、平成 19 年の上記報告書において示された上記の考え方を、本中間報告書においても変更すべき理由はないと考えられる。

4. 4. 電波防護指針の妥当性に関する評価 **【渡辺構成員】**

前節までに報告されてきたとおり、電波防護指針の根拠を直ちに直視する必要がある科学的に確立した健康影響は示されていない。したがって、現行の電波防護指針を適用することで、電波を安全に利用することは可能と考えられる。ただし、無線電力伝送システムで用いられている中間周波数帯やレーダー・センシング・通信等で利用拡大が見込まれているミリ波・テラヘルツ波については、これまでに必ずしも十分な研究が行われていないため、指針値の根拠を再確認するための研究が必要と考えられる。この分野における電波利用の研究開発は我が国が世界の先頭を走っていることもあり、これらの周波数帯における人体防護に関する研究について、我が国からのより一層の貢献が求められている。

同じく前節までに報告されていたとおり、ICNIRP は低周波電磁界のガイドラインを 2010 年に改訂している。我が国の電波防護指針もこれを踏まえて情報通信審議会において見直しを検討さ

れており、引き続き国際的ガイドラインとの調和が維持されている。なお、これらのガイドライン等の改定は、ばく露評価モデルの精細化等の工学的な評価技術の進展にもよるものである。

特に、小児の全身平均SARや局所SARと体温上昇の関係等の電波防護指針値の決定に関する工学的な課題は、我が国が世界的にもリードしている分野であり、我が国における研究成果を国際的な場でアピールすることにより、電波防護ガイドラインの国際的な整合性確保に貢献することが期待される。

第5章 今後の取組について

5. 1. 電波法令による規制についての考え方 【事務局】

我が国においては、電波防護指針に基づき、電波法令による人体防護のための規制が導入されている。前述の通り、電波防護指針は人体防護のための基準値として妥当なものであると考えられるが、今後の国際的な研究の進展を踏まえ、必要に応じて電波防護指針の検証を継続的に実施していくことが必要である。新たな科学的証拠に基づく電波防護指針の改正等が行われた際は、速やかに電波法令を改正することにより、国内規制に反映することが適当である。

5. 2. リスクコミュニケーション 【西澤構成員・事務局】

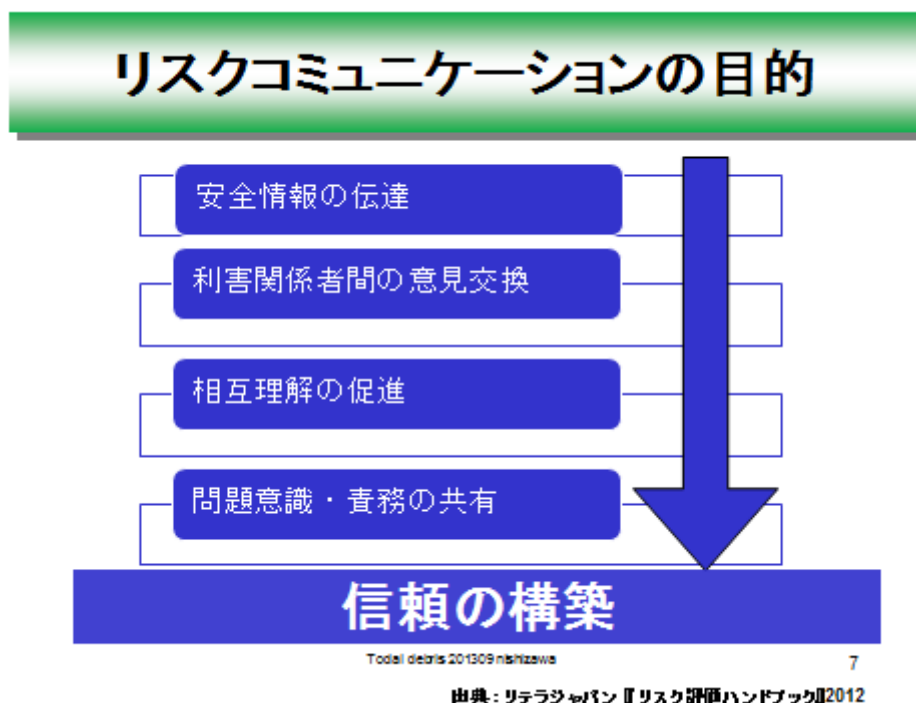
5.2.1. リスクコミュニケーションの考え方について

リスクコミュニケーションを議論する上では、「リスク」という考え方が理解されていないということ認識する必要がある。つまり、「ハザード」と「リスク」が混同されており、どちらも「危険」と捉えられてしまう。ハザードは「危害因子」「有害性」、リスクは「危険度」「好ましくないことが起こる可能性」であり、両者は別物である。

リスクコミュニケーションは、従来の情報提供と異なる概念である。パンフレットを作るなどの従来の取り組みは、確かに安全情報の提供であるが、それは一方的な情報提供でしかなく、リスクコミュニケーションの第一歩にすぎない。リスクコミュニケーションではそのあとが重要であり、意見や感覚が違う人たちとの意見交換をしなければならない。例えば、携帯電話の例でいえば、携帯電話の電磁波が不安だから全く使わないのか、あるいは誰かが安全を担保しなければならないのか、そうしたことについて理解を促進していくことが必要である。科学技術には100%安全なものはないため、グレーなものを利用するにあたって、どういうふうな意思決定をしていくのかを考えなければならない。そのためには、実際に顔を合わせた場で意見交換をすることが必要となる。そうしないと、情報源に対する信頼が生まれず、いくら情報を提供しても、その情報が信頼されなければ意味がないという結果に陥ることとなる。信頼を構築するためにも、つまり、双方向の意見交換が重要となる。「リスクコミュニケーション」というと、非常にソフトに聞こえるが、実は時間も労力もかかるものであるため、焦らず、地道にやっつけていかなくてはならない。

また、リスクコミュニケーションは自己満足であってはならない。自分の言いたいことを言うだけでなく、リスク評価とリスク管理を、よりよい社会を実現するために役立てていくことが重要

である。そして対話を繰り返していく過程で信頼を獲得していく。これらがリスクコミュニケーションの目的であることを関係者間で共有する必要がある。



図

リスクコミュニケーションは専門的な情報を易しく噛み砕くことと考えられがちだが、そうではない。人は論理や数字では納得してくれず、イメージ、直感、感覚、感情で判断するものである。いくら丁寧に論理や数字を易しく説明しても、頭に入ってこない。ここが専門家と社会とのギャップである。情報を提供する時に悩むようであれば、説明する側が論理や数字に引っ張られすぎている可能性がある。その場合、イメージや直感を補う必要がある。

専門家の視点に偏ったリスクコミュニケーションになってしまうと、どうしても一般には理解されず、すれ違いが起きてしまう。また、リスクはリスクと比較しないと分からない。携帯電話の電磁波のリスクだけに注目すると、非常に大きなリスクであるかのように思えてしまう。しかし、他のリスクと比較することでリスクの相場観を得ることができよう。

リスク評価は常に科学的不確実性をはらむものであることにも、注意が必要である。電波の人体への影響に限らず、世の中の全ての考えられるリスクについて、全くリスクが無いことを科学的に担保することは極めて困難であり、それを目指すことは現実的ではない。リスクコミュニケーションにおいては、このリスク評価の科学的不確実性と、それに対する判断の難しさを踏まえて行うことが重要になる。安易な安全宣言をすることは、避けられるべきである。

また、リスクの概念自体も理解されにくいのが、リスクのトレードオフについても理解されていない。リスクのトレードオフとは、「あるリスクを避けることによって、他のリスクを呼びこんでしまうこと」である。リスクには物理的、経済的、心理的リスクも含む。リスクの選択にはコストとベネフ

ットがあり、常にトレードオフで考えなければならないが、この説明が不十分である。また、説明の際には単に話の上手い人が行くのではなくて、リスクコミュニケーションという社会技術を活用するのが鍵である。

さらにはリスクコミュニケーションの場の設定にも留意する必要がある。一方通行の説明型の情報提供には限界があるのは前述したとおりである。ただ、欧米型の、自由に発言し討議できる例えばコンセンサス会議などのコミュニケーションの方法が合うかと言えば難しい点がある。欧米で発達したコミュニケーションの方法が日本の社会土壌(行動規範や文化、社会構造)になじまない場合があり、慎重にデザインしなくてはならない。

リスクコミュニケーションの方法は進化している。リスクコミュニケーションの先進国の欧米では 90 年代から様々な利害関係者が顔を合わせて議論する少人数型での討議、インターネットを使った双方型の議論など、一方通行型から双方向型のリスクコミュニケーションに移行している。リスクコミュニケーションの目的に照らし合わせ、わが国でも実践されていく必要があろう。

参考文献

EU COM

西沢真理子 『リスクコミュニケーション』

5.2.2. 電波の安全性についてのリスクコミュニケーションについて

総務省では、国民の電波の安全性に関するリテラシー向上のために、総務省のホームページやパンフレットにより幅広く情報提供を行い、専門スタッフを設置して全国からの電話相談を受け付け、さらに、全国各地での説明会を開催している。

電波の安全性について強く心配される方の不安解消のためには、HPでの情報発信や電話での対応だけでなく、双方向のコミュニケーションにより、専門家や行政の担当者から直接話を聞き、質問ができる等、きめ細やかな対応が可能な場を設けることが非常に重要であり、そのため、今後とも引き続き、定期的に全国各地で説明会を開催することが必要である。

一方、リスクコミュニケーションという社会技術を生かしたより良い説明会の構築のために、説明会の場の設定、説明の方法などを今後とも引き続き改善方を検討していく必要がある。

5.3 関係者の果たすべき役割 【事務局】

○政府(総務省)

政府は、電波が人体に与える影響の調査・研究を推進し、その調査結果等に即した必要な規制を制定する。

また、調査・研究の結果や規制の内容について、一般国民、消費者、事業者等へ幅広く周知広報を行う。具体的には、電波の安全性に関する一般的な情報について、説明会やHPでの情報発信、電話相談への対応等により、国民とのリスクコミュニケーションを、継続的に改善を図りつつ実施する。

なお、総務省は、必要に応じて、電磁界の健康影響に関係する府省により構成される電磁界関係省庁連絡会議等を通じて、関係各省と連携する。

○通信事業者・通信機器メーカー

通信事業者、通信機器メーカーは、提供するサービス・製品が発する電波の安全性に関する情報を調査・収集した上で、必要な情報を公表し、利用者に対して丁寧に説明することが望ましい。特に、携帯電話基地局に関する情報については、通信事業者は、開設の際に必要な情報を周辺住民に説明しているところであるが、引き続き本取組を継続することが重要である。携帯電話端末については、メーカーはSAR(比吸収率)の基準値を満たす法的義務がある。各携帯電話事業者は、SAR基準値を満たした端末についてSAR値等をHPで掲載している。引き続き、電波の安全性について十分な情報公開をしていくことが重要である。

○大学・研究機関

大学・研究機関等の研究者は、電波が人体に与える影響の調査・研究を推進し、新たな電波利用のかたちにも対応しつつ、電波防護指針の妥当性を引き続き確認していくことが重要である。また、電波防護指針に適合していることを確認するためのより実用的な評価技術の確立も引き続き重要である。

また、政府や事業者等の求めに応じて、国民への説明等において科学的知見に基づき、かつ分かりやすい説明を行う等の協力を行うことが望ましい。

5.4 新たなICT機器への対応 【事務局】

電波利用の急速な普及に伴い、ワイヤレス電力伝送、ウェアラブル機器など、新たな電波利用ICT機器が開発されつつある。また、従来はあまり電波を利用する機器が普及していなかった周波数帯(中間周波数帯からミリ波帯、テラヘルツ帯まで)においても、広範な電波の応用技術が進展してきている。電波防護指針は、システムによらず、10kHz～300GHzまでの周波数帯で適用が可能であるため、これらの新たな機器に対応することは可能であると考えられるが、さらなる調査研究の積み重ね、特に基準値への適合性を簡便に評価する技術の開発等を早急に実施することが必要である。なお、適合性評価技術の開発にあたっては、国際標準化の動向を把握し、我が国からも積極的に寄与していくことが重要である。

具体的に今後普及が見込まれる機器に対する現時点の考え方は下記の通りである。

○ウェアラブル機器

現時点で想定されるウェアラブル機器に搭載される無線機器は、出力が非常に小さいものであるため、身体に密着して使用された場合も電波防護指針(局所吸収指針)の基準値を満たすものと考えられ、安全性が確保されているものと考えられる。今後、新たなウェアラブル機器の開発動向によっては、SAR規制の改正等について検討する必要性が生じる可能性がある。

○ワイヤレス電力伝送(WPT)

電波法令では高周波利用設備として位置づけられ、電波法令により安全性を確認する

ことが必要である。既に測定法について情報通信審議会において検討が行われている。また、WPTが使用する中間周波数帯については、電波防護指針の改定についても情報通信審議会にて検討が進められている。また、これまでも中間周波数帯での電波の安全性の検証に関する調査・研究は進められてきており、十分な科学的根拠に基づいた基準値が設定されているが、他の周波数帯に比較すれば研究の数は多くはないため、今後のさらなる研究の推進が重要である。

○M2M

現在利用が想定される機器については、原則として、既存の規制の枠組みの中で対応可能と考えられる。ただし、電波利用機器が国民生活のあらゆる場面で使用されることに伴う不安の声は予想されるため、安全性について丁寧に説明していくことが必要。

○超高周波帯利用設備

今後、ミリ波帯、テラヘルツ帯を含む超高周波帯の利用が進展することが想定される。この周波数帯についても、中間周波数帯と同じく、これまでも電波の安全性の検証に関する調査・研究は進められてきており、十分な科学的根拠に基づいた基準値が設定されているが、他の周波数帯に比較すれば研究の数は多くはないため、今後のさらなる研究の推進が重要である。この安全性を検証するための調査・研究及び実用的な適合性確認方法の確立を推進することが必要である。

5.5 今後取り組むべき研究課題 【事務局】

電波の安全性に関する調査研究は、世界各国で50年以上に渡って実施されてきたところであるが、依然として解明されていない事項が残されている。WHO から示された研究アジェンダ、我が国のこれまでの研究実績、近年に諸外国政府の研究報告において重要とされた研究課題等の情報を総合的に勘案し、今後、我が国が積極的に取り組むべき研究課題は以下の通りとする。

- ・
- ・
- ・

5.6 その他の課題 【事務局】

【TBD】