

2.1.2 「高周波電磁界の生体影響に関する研究動向」について

1	はじめに.....	98
2	疫学研究.....	98
2	ボランティア研究.....	101
3	動物実験.....	102
4	細胞実験.....	104
5	最近の携帯電話と健康に関するレビュー.....	105
6	むすび.....	108
	付録.....	109
	スウェーデンの疫学研究報告の概要.....	109
	A. 携帯電話と聴神経腫瘍のリスク.....	109
	B. 携帯電話の長期使用と脳腫瘍リスク.....	114

1 はじめに

高周波電磁界による健康影響の可能性への関心は、1990年以降の携帯電話の急速な普及とともに、世界各国で高まった。高周波電磁界の生体作用は、超低周波(ELF)電磁界の影響よりはるかに早く、1950年代から研究されている。人体組織に高周波電磁界のエネルギーが吸収されることによって生じる熱による生体影響、すなわち熱作用が支配的な作用であることが初期の研究ですでに明らかにされた。熱作用の閾値についての考察が、現在の防護指針の根拠を与えている。

現在、先進諸国のほとんどでは、防護指針を満たすように電波利用が行われている。しかし、一部の人々の間で懸念されているのは、防護指針値以下の低レベル暴露による非熱作用の可能性である。非熱作用への関心は、1960年代にモスクワの米国大使館で弱い電波が検出され、それが大使館員への攻撃的意図によるものではないか、という推測がなされたことを契機にはじまった。やはり古くから関心を集めてきた問題である。

ここでは、高周波電磁界による健康影響についての最近の研究動向の調査結果を述べる。なお、昨年度までの調査結果を踏まえ、新たな研究動向を中心に報告する。

調査対象の選定は、世界保健機関の国際電磁界プロジェクトによる情報、欧州の研究プロジェクトである COST281 からの情報、生体電磁気学会(Bioelectromagnetics Society)および同学会の論文誌である *Bioelectromagnetics* 誌を中心にサーベイし、MEDLINE での検索で欠落情報を補填した。なお、高周波の波長範囲は非常に広いので、本報告では携帯電話および無線通信に関する高周波電磁界の研究を中心とした。

2 疫学研究

Hardell らの研究グループは、一連の研究として、携帯電話の使用により、特に電話機端末を持つ手と同側に脳腫瘍の発症のリスクが上昇すると報告してきた(Hardell 1999, 2002a, 2002b, 2003a)、また前庭シュワン細胞腫でも同様の傾向を報告した(Hardell 2003b)。しかし、これらの

研究における想起バイアスの問題の指摘があり、さまざまな批判があることを前年度に報告した。

Hardell らによって行われたその後の研究として、唾液腺腫瘍と携帯電話等の使用状況との関連性についての調査結果が新たに報告された。スウェーデンの6つの地域がん登録から、生存している293人の症例と、性別および5年単位で年齢を適合させた1172人の対照を抽出し、唾液腺腫瘍と携帯電話利用との関連性を調査した。参加率は症例で91%(267人)、対照で90%(1053人)であった。結果は、携帯電話の利用によるリスクの上昇を認めなかった。すなわち、アナログ携帯電話使用者でのオッズ比は0.92(95%信頼区間0.58-1.44)、デジタル携帯電話使用者では1.01(0.68-1.50)、コードレス電話使用者では0.99(0.68-1.43)であった。また、腫瘍の位置との関連性も見られなかった。但し、10年間以上の長期利用者の症例数が少なく、長期利用による影響は評価できないとしている。

携帯電話端末の使用と頭頸部の腫瘍との関連性について、国際がん研究機関(IARC)が国際共同研究INTERPHONEを実施してきた。参加国は13カ国で、英国から2グループが参加しているため、全体で14の研究グループからなる国際共同研究である。2004年末に各国からデータが集められ、現在解析中である。

国際共同研究は欧州政府の研究プロジェクトとして資金を得ており、欧州からの参加国と国際委員会の経費としている。日本など欧州以外からの参加国は、それぞれで資金を調達している。欧州の研究資金は2004年6月で終了するので、6月に開催される全体会議が最終会議となる。

このプロジェクトでは、国際共同研究と並行して、各国の国内研究も実施されている。国内研究のデータ収集プロセスは国際共同研究と共通に行われるが、それぞれの研究グループが独自の目的や方法を加えることもあり、また追加データを収集している例もある。

この国内研究のうち、最初の報告は2004年初頭に公表されたデンマークにおける研究(Christensen,2004)であり、これについては前年度の報告でも述べられている。この研究は、携帯電話の使用と聴神経腫瘍の関連性を調査したもので、症例数は106名で、整合させた対照212名との比較が行われた。携帯電話の使用による聴神経腫瘍の相対リスクは0.90(95%信頼区間0.51-1.57)でリスクの上昇は見られなかった。なお、携帯電話を使用している症例では、腫瘍の大きさがやや大きい傾向があるとのコメントが付されている。

その後、2004年10月にスウェーデンにおけるINTERPHONE研究のための国内研究として、デンマークの研究と同じ聴神経腫瘍と携帯電話利用の関連性についての研究結果が報告された(Lönn, 2004a)。結果は、6ヶ月以上の期間にわたり週1回以上携帯電話を使用する人として定義される規則的利用者の聴覚神経腫のオッズ比は1.0(95%信頼区間は0.6-1.5)であった。しかし、規則的利用者のうち使用歴10年以上の長期利用者では、相対リスク推定値は1.9(0.9-4.1)に増大した。また長期利用者について、腫瘍と同側での使用者に限定した場合、オッズ比は3.9(1.6-9.5)であった。

前述のデンマークの研究報告が、関連性がなかったとしていることの一貫性については、デンマークの研究では長期継続利用者の症例数が少ないこと、10年以下の利用者ではいずれの結果もリスクの上昇をみていない点では一致していることを挙げ、一貫性があるとしている。この報告は、WHOによって推進されている研究として最初の陽性報告であり、注目されるものである。聴神経腫瘍と携帯電話利用の関連性は、各国のデータを総合した国際共同研究の結果を見た上で判断される。

スウェーデンの同じ研究グループから、2005年になって携帯電話の利用と脳腫瘍との関連性についての研究報告が公表された(Lönn, 2005)。研究の手法は聴神経腫瘍を対象にした前報と共通である。結果は、規則的利用者におけるグリオーマ(神経膠腫)のオッズ比は**0.8(95%信頼区間は0.6-1.0)**、髄膜種は**0.7(0.5-0.9)**であった。また、使用歴10年以上でも同様に、リスクの増大が認められなかった。さらに、腫瘍発生部位と同側での電話使用についてもリスクの増大はなかった。がん病理データ、電話機種や使用量でもオッズ比は増大しなかった。

これら2つのスウェーデンからの研究報告はWHOによる国際電磁界プロジェクトにとって非常に重要な位置を占める。その点で、これまでの疫学研究報告と比べて格段に重要な報告である。このことから、やや詳細な内容を付録として添付する。

INTERPHONE研究では、携帯電話からの電磁波暴露に関する暴露評価を詳細に行うことに力を入れている。前述のスウェーデンの研究に関する暴露評価(Lönn, 2004b)が報告された。携帯電話から発する電波の強度は、基地局との通信感度によって調節され、欧州のGSM方式では1000倍の出力差になる(わが国のPDC方式では100倍)。また、無音声部分で出力を小さくするDTXの影響も考慮しなければならない。この報告では通話条件による出力電力の違いをSMP(Software Modified Phone)と呼ばれる、携帯電話端末のソフトウェアを変更することで、通信状況のパラメータを記録できるようにした電話端末を用いて調査を行っている。また、質問票調査の回答についての確認研究も行われている。ドイツで行われているINTERPHONE研究のための国内研究に関しても、同様の暴露評価に関する報告が公表されている(Berg 2004, オンラインでの事前公表であり、ジャーナルには未掲載)。

L Hardell, A Näsman et al(1999). Use of cellular telephones and the risk of brain tumors: a case-control study. *Int. J. Oncol.* 15:113-116.

L Hardell, A Hallquist et al(2002a). Cellular and cordless telephones and the risk for brain tumors. *Eur J Cancer Prev* 11:377-386.

L Hardell, KH Mild et al(2002b). Case-control study of the use of cellular and cordless phones and the risk of malignant brain tumours. *Int J Rad Biol* 78:931-936.

L Hardell, KH Mild et al(2003a) Further aspects on cellular and cordless telephones and brain tumours. *Int J Oncol* 22:399-407,.

L Hardell, KH Mild et al(2003b). Vestibular schwannoma, tinnitus and cellular telephones. *Neuroepidemiology* 22:124-129.

Hardell L, Hallquist A, Hansson Mild K, Carlberg M, Gertzen H, Schildt EB, Dahlqvist A.: No association between the use of cellular or cordless telephones and salivary gland tumours. *Occup Environ Med* 61:675-679, 2004.

HC Christensen, J Schüz et al(2004). Cellular telephone use and risk of acoustic neuroma. *Am J Epidemiol* 159:277-283.

S Lönn, A Ahlbom, P Hall, M Feychting (2004a): Mobile phone use and the risk of acoustic neuroma. Epidemiol 15:653-659.

S Lönn, A Ahlbom, P Hall, M Feychting (2005): Long-term mobile phone use and brain tumor risk. Am J Epidemiol 161: 1 -10

S Lönn, Forssen U, Vecchia P, Ahlbom A, Feychting M.(2004b): Output power levels from mobile phones in different geographical areas; implications for exposure assessment. Occup Environ Med.;61(9):769-72.

Berg G, Schuz J, Samkange-Zeeb F, Blettner M.(2004, advance online publication) : Assessment of radiofrequency exposure from cellular telephone daily use in an epidemiological study: German Validation study of the international case-control study of cancers of the brain-INTERPHONE-Study. J Expo Anal Environ Epidemiol (online).

2 ボランティア研究

1999年に Preece(1999)らが携帯電話と類似の電波を側頭部に照射することにより、認知タスクの反応時間が早まることを報告し、Koivisto ら(2000)が同様の現象を報告したことから、この現象についての関心が高まった。しかし、Koivisto らの研究グループが(Haarala,2003)実験条件の問題点を改善して再現実験を行った結果、これらの現象は再現しなかったことを前年度に報告した。

Haarala らは、さらに再現実験の改善を行った結果を新たに報告した(Haarala, 2004)。実験には先行の実験と同じ 902MHz の電波を用いた。改善点は、2つの研究施設でそれぞれ並行して実験すること、ダブルブラインド法を採用することである。結果は、それまでの反応時間の短縮は観察されず、再現しなかった。

オランダの TNO (応用科学研究機構)による携帯電話基地局からの電波による人体の主観的な反応についてのボランティア実験の報告については昨年度に報告した。この研究結果は、現時点でも査読付きの論文としては公表されていない。しかし、オランダの経済省、環境省、厚生省による委託研究であり、TNO が信頼されている研究機関であることから、各国で追試研究が計画されている。この研究では電磁波過敏症であると自覚している被験者と健常な被験者が実験の対象とされていた。結果は、第3世代携帯電話システムである UMTS の波形(注:実際のシステムから放射される波形とはやや異なっていたといわれている)による暴露時に、アンケート調査における「安寧」(well being)の有意な低下が検出されたが、それ以外の波形では影響はなかった。また、電磁波過敏症の自覚の有無に関係がなかった。

このような電磁波過敏症に対する関心は高く、WHO は 2004 年 10 月にプラハでこの問題についてのワークショップを開催している。このワークショップの発表資料は WHO の国際 EMF プロジェクトのホームページからリンクされている

(http://www.who.int/peh-emf/meetings/hypersensitivity_prague2004/en/index1.html)。)

AW Preece, G Iwi et al (1999). Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. Int J Radiat Biol 75:447-456.

M Koivisto, Revonsuo R et al (2000). Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. *Neuroreport* 11:413-415.

Christian Haarala, Linda Björnberg, Maria Ek, Matti Laine, Antti Revonsuo, Mika Koivisto, Heikki Hämäläinen (2003). Effect of a 902 MHz electromagnetic field emitted by mobile phones on human cognitive function: A replication study, *Bioelectromagnetics*, 24, 283-288.

Christian Haarala, Maria Ek, Linda Björnberg, Matti Laine, Antti Revonsuo, Mika Koivisto, Heikki Hämäläinen (2004): 902 MHz mobile phone does not affect short term memory in humans. *Bioelectromagnetics* 25:452-456.

APM Zwamborn, SHAH Vossen et al (2003). Effects of Global Communication system radio-frequency fields on Well Being and Cognitive Function of human subjects with and without subjective complaints (Report FEL-03-C148). The Hague, The Netherlands, Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO).

3 動物実験

衛星携帯電話であるイリジウムシステムの安全性評価のための長期暴露動物実験が行われた。この実験ではイリジウム携帯電話システムからの暴露を想定して、F344 ラットを 1.6GHz の高周波電磁界に慢性暴露している。36 匹の妊娠ラットを 2 つの暴露群と 1 つの偽暴露群に分け、胎児の脳に 0.16W/kg で、イリジウム携帯電話の波形の電磁界に遠方界暴露する。懐胎後 19 日目から、児動物が離乳するまで（出生後 23 日）、1 日 2 時間、週 7 日間の暴露を行う。700 匹の児動物を選び、脳 SAR 1.6W/kg および 0.16W/kg の 2 レベルの近傍界暴露、および偽暴露をそれぞれ雌雄 90 匹ずつ（計 540 匹）と、飼育棚対照群として雌雄各 80 匹を用いている。暴露は 1 日 2 時間、週 5 日で 2 年間継続した。暴露群と偽暴露群で、生存率、離乳時の体重、臨床所見、新生物の発生に有意差はなかった (Anderson 2004)。この実験に関しては、動物の診断を実施する前に、骨髓塗抹から赤血球の小核形成頻度を測定した、遺伝毒性の評価も行われており、その結果が先行して報告されていた (Vijayalaxmi, 2003)。

昨年度の報告で速報として記載した、わが国における長期暴露実験の結果も、論文として公表された (Shirai, 2005)。わが国で使われている 1.5GHz 帯(1.439GHz)の PDC 方式の携帯電話から照射される電波による脳腫瘍の促進に関する 2 年間の発がん性評価試験の結果が報告された。F344 ラット 500 匹が用いられた。これらのラットには、ENU(N-ethylnitrosourea)の胎内投与により脳腫瘍に対するイニシエートの処置を施したラットから生まれた児動物を含む。各群は雌雄各 50 匹であり、無処置対照群(50+50)、ENU 処置のみの群(50+50)、ENU 処置に加えて、偽暴露(50+50)、低レベル(50+50)および高レベル(50+50)の電磁界照射を施す群とした。低レベル照射は脳平均 SAR が 0.67W/kg で、高レベル照射は脳平均 SAR が 2.0W/kg であった。全身平均 SAR は 0.4W/kg 以下であった。SAR の値は時間平均値で、PDC 方式の信号では、ピーク値はこの 3 倍であった。出生 5 週目から 90 分間/日、週 5 日の暴露を 104 週間継続した。体重、食餌摂取、生存率に群間で差が見られなかった。脳腫瘍および脊髄腫瘍の発症に差はなく、また腫瘍の種類

にも差がなかった。

短期暴露の影響に関する動物実験の報告もいくつか新たに報告されている。Gatta らは、900MHz の GSM 方式で使用される波形の電波を C57BL/6 マウスに 1 日 2 時間、1, 2, 4 週間暴露し、免疫系への影響を調べた(Gatta, 2003)。暴露装置は TEM セルを用い、SAR は 1 または 2W/kg であった。暴露終了後屠殺して、脾臓細胞を採取し、脾臓の細胞数、B 細胞と T 細胞の割合、T 細胞のうちの CD4 と CD8 の分布を検査したが、暴露による変化は見られなかった。また、モノクローナル抗体を用いて T 細胞および B 細胞を刺激しても、増殖やサイトカイン産生に変化は見られなかった。暴露開始 1 週間後にのみインターフェロンガンマの産生が見られたが、この現象は一過性であり、2 および 4 週間には見られなかった。これはストレスに対する通常の応答によるものと解釈し、免疫系への影響は見られなかったと結論されている。

Trosic らは、2.45GHz の連続波に Wister ラット(n=40)を 1 日 2 時間、週 7 日間暴露し、暴露の遺伝毒性を評価した(Trosic, 2004)。照射した電力密度は 5 -10mW/cm² であり、全身平均 SAR は計算により 1.25±0.36 W/kg と推定された。暴露時間の合計が 4, 16, 30, 60 時間の 4 群の暴露群と、偽暴露群(n=24)が用いられた。暴露最終日に骨髓スミアを採取し、遺伝毒性試験を行った。暴露 8 日および 15 日に幼若赤血球(polychromatic erythrocytes)に小核を有するものが有意に増加した。しかし、影響は一過性のものであると評価されている。

内分泌への影響に関して、わが国の研究が報告された。わが国で使われている 1439 MHz の PDC 方式の波形を脳平均 SAR に 7.5 W/kg (全身平均 SAR はオス 1.9W/kg, メス 2.0W/kg) でラットの頭部を暴露して、メラトニンおよびセロトニンレベルへの影響を調べた。動物数は暴露群、偽暴露群、ケージ対照群が各 64, 光対照群 16 の計 208 匹であった。暴露は 1 回の急性照射で、暴露時間は 4 時間である。光対照群は、光によるメラトニン合成の抑制についての陽性対照である。光対照群を除き、メラトニンおよびセロトニンレベルに有意差は見られなかった(Hata, 2005)。

Vijayalaxmi, Lyle B. Sasser, James E. Morris, Bary W. Wilson, and Larry E. Anderson (2003).
Genotoxic potential of 1.6 GHz wireless communication signal: In vivo two-year bioassay.
Radiat Res 159:558-564.

LE Anderson, Sheen DM, Wilson BW, Grumbein SL, Creim JA, Sasser LB.(2004): Two-year chronic bioassay study of rats exposed to a 1.6 GHz radiofrequency signal. Rad Res 162:201-210.

T Shirai, M Kawabe, T Ichihara, O Fujiwara, M Taki, S Watanabe, K Wake, Y Yamanaka, K Imaida, M Asamoto, S Tamano (2005): 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 26:59-68.

L Gatta L, Pinto R, Ubaldi V, Pace L, Galloni P, Lovisollo GA, Marino C, Pioli C.(2003): Effects of in vivo exposure to GSM-modulated 900 MHz radiation on mouse peripheral lymphocytes. Radiat Res. 160(5):600-5.

Trosic I, Busljeta I, Modlic B.(2004): Investigation of the genotoxic effect of microwave irradiation in rat

bone marrow cells: in vivo exposure. *Mutagenesis*. 19(5):361-4.

K Hata, H Yamaguchi, G Tsurita, S Watanabe, K Wake, M Taki, S Ueno, H Nagawa (2005): Short term exposure to 1439 MHz pulsed TDMA field does not alter melatonin synthesis in rats. *Bioelectromagnetics* 26:49-53.

4 細胞実験

Lim らは、ヒト白血球を 900MHz の連続波および GSM 方式の変調波形に暴露し、熱ショックタンパク発現への影響を調べた。インキュベータ内に設置した TEM セル内で暴露を行った。暴露強度は 0.4, 2.0, 3.6 W/kg とし、暴露時間は 20 分, 1 時間, 4 時間とした。熱ショックタンパクはフローサイトメトリで評価した。42°C の熱処理は熱ショックタンパク (hsp70 および hsp27) を発現する細胞を増加させたのに対し、これらの暴露条件での高周波暴露は熱ショックタンパクに変化を与えなかった (Lim, 2005)。

Zmyślony らは、930MHz 連続波で 1.5W/kg での暴露が細胞の活性酸素レベルに与える影響を調べた。ラット白血球を用い、細胞内活性酸素レベルの測定には蛍光プローブ試薬 (DCF-DA) を用いた。5 分および 15 分の急性暴露では影響はなかった。しかし、10 μ g/ml の FeCl₂ を白血球懸濁液に加えて活性酸素の産生を刺激すると、暴露した試料で有意に活性酸素レベルが上昇した (Zmyślony, 2004)。

Belyaev らは、915MHz の SAR が 37mW/kg GSM 方式の波形の高周波とピーク値が 15 μ T の 50Hz 電力線周波数磁界による遺伝毒性についての研究が報告された。健康な被験者と電磁界過敏症を訴える被験者のリンパ球を試料とした。これらの試料を暴露し、クロマチンのコンホメーション変化を異常粘性の時間依存性を利用した方法 (AVTD) を用いて測定した。また、DNA の 2 本鎖切断によって foci 状に集積する 53BP1 タンパクを免疫染色法により測定した。高周波暴露は Salford らが血液脳関門に関する研究で使用した TEM セル暴露装置を用いた。AVTD による変化は、915MHz の高周波による暴露でも 50Hz の低周波磁界による暴露でも共通に見られ、影響は 41°C の熱ショックと共通の性質であった。健常者と過敏症から採取した試料間に違いは見られなかった。高周波と低周波磁界のどちらの暴露でも 53BP1 のフォーカス形成に影響は見られなかった。しかし、53BP1 の背景レベルが暴露によって減少した。これは熱ショック処理による影響と類似である。アポトーシスの誘導は見られなかった。これらの結果から、915MHz の GSM 信号による高周波暴露も、50Hz の低周波磁界暴露も、熱ショックによる応答と類似の、しかし完全には同じでない応答を示すこと、またその応答は健常者からの試料と過敏症を訴える被験者からの試料で違いがないと結論している (Belyaev, 2005)。

Czyz らは、GSM 方式のパルス変調された信号を、多分化能を有する胚幹 (ES) 細胞に照射し、影響を調べた (Czyz 2004)。周波数は 1.71GHz である。この周波数は、1800MHz 帯の GSM システムにおいて、端末から基地局に送られる電波の帯域の下限の周波数である。GSM の基本波形である、217Hz でデューティサイクル 1:8 のパルス変調波形 (GSM-217) と通話ありの波形 (基本波形が 2/3 と通話なしの DTX 波形が 1/3) をそれぞれ用いた。暴露強度はハンギングドロップ内で 1.5W/kg (時間平均値)、懸濁液中で 2W/kg であった。試料には、野生型の ES 細胞とがん抑制因子となる p53 の欠損した ES 細胞をそれぞれ用いた。

実験の結果、GSM-217 信号は p53 欠損 ES 細胞に対し、熱ショックタンパク *hsp70* の mRNA 調節の昂進、*c-jun*, *c-mic*, *p21* レベルの一過性のわずかな増加を引き起こした。しかし、野生型の ES 細胞には影響しなかった。通話ありの信号ではどちらのタイプの細胞に対しても影響はなかった。この結果から、影響は信号波形に依存することが示された、としている。

この Czyz らによる研究報告は欧州の研究プログラム REFLEX の一部として実施された。REFLEX は 2000 年から 2004 年にかけて実施され、Adlkofer をリーダーとしていくつかの研究グループが参加したプロジェクトである。このプロジェクトの研究報告は、上記の例のように特定の条件でのみ影響が見られる、という陽性報告が多く、その再現性に対して疑問が呈されていることを付記しておく。

HB Lim, Cook GG, Barker AT, Coulton LA (2005): Effect of 900 MHz electromagnetic fields on nonthermal induction of heat-shock proteins in human leukocytes. *Radiat Res.* 163(1):45-52.

M Zmyślony, P Politanski, E Rajkowska, W Szymczak, J Jajte (2004): Acute exposure to 930 MHz CW electromagnetic radiation in vitro affects reactive oxygen species level in rat lymphocytes treated by iron ions, *Bioelectromagnetics* 25:324-328.

IY. Belyaev, L Hillert, M Protopopova, C Tamm, LOG Malmgren, BRR. Persson, G Selivanova, M Harms-Ringdahl (2005): 915 MHz microwaves and 50 Hz magnetic field affect chromatin conformation and 53BP1 foci in human lymphocytes from hypersensitive and healthy persons, *Bioelectromagnetics* 26:173-184.

J Czyz, K Guan, Q Zeng, T Nikolova, A Meister, F Schönborn, J Schuderer, N Kuster, AM. Wobus (2004): High frequency electromagnetic fields (GSM signals) affect gene expression levels in tumor suppressor p53-deficient embryonic stem cells. *Bioelectromagnetics* 25:296-307.

5 最近の携帯電話と健康に関するレビュー

携帯電話と健康との関連性に関する関心が高まったことから、各国のさまざまな機関が研究の現状についてのレビューを行っている。これらのレビューの多くはそれぞれの国で非電離放射による健康影響の問題に責任を持つ機関、あるいはそのような機関によって諮問された委員会等の組織によるものである。

英国では、2000 年 5 月に、保健省の諮問に基づき W. Stewart 卿を主査とする委員会 (Independent Expert Group on Mobile Phones, IEGMP) が、携帯電話の健康影響に関する詳細なレビューと英国での取り組みについて勧告した。英国放射線防護審議会(NRPB)では、非電離放射による健康影響の問題に関する研究のレビューを継続してきたが、2004 年に高周波電磁界全般についての包括的なレビュー文書(NRPB 2004a)を刊行した。

NRPB は続いて、携帯電話と健康の問題についての現状認識を取りまとめた文書(NRPB,2004b)を公表した。この文書は、携帯電話および関連する新技術(無線 LAN や UWB, RFID 技術など)と、それらによる公衆の暴露の現状をまとめている。

NRPB はまた、2000 年の Stewart 報告以降の各国の機関や専門家の取りまとめたレビュー報

告の要旨をまとめた文書を刊行した(NRPB 2005)。レビュー文書の一覧を表 1 に示す。

この文書の一部は前述の文書(NRPB, 2004b)に付属文書として添付されている。そこではこれらの報告を総括して、「これらの報告は、低レベル高周波電磁界がさまざまな生物学的影響を細胞、動物、ヒト特に脳の活動にかすかな影響を与えるかもしれないが、このような暴露が健康への悪影響を引き起こす可能性は立証されていない、と認識している。しかしながら、これらの報告は、残された不確実な問題を明らかにするために、的確に的を絞った高品質な研究のさらなる実施を示唆している。そのような研究は、また公衆に安心を与え、健康不安への対処の助けにもなる。さらに、これらの報告書は、基地局からの暴露のような非常に低レベルの暴露は生物物理学的な根拠による影響を及ぼす可能性が極めて小さいことを強調している。一方、携帯電話機端末からの放射のような局所に集中した暴露が端末付近の体表面に軽度の加温をもたらすことによる影響を生じさせるかもしれないとしている。」と述べている。

表1 2000年以降に刊行された携帯電話と健康についてのレビュー

1	Health Council of the Netherlands, HCN (2000). GSM Base Stations. Publication No. 2000/16E. The Hague, Health Council of the Netherlands.
2	Advisory Group on Non-ionizing Radiation, AGNIR (2001). Possible health effects from terrestrial [ranked radio (TETRA). Report of an Advisory Group on Non-ionising Radiation. DocNRPB12(2), 1-86. Available at www.nrpb.org .
3	British Medical Association, BMA (2001). Mobile Phones and Health: An Interim Report. London, British Medical Association Science Department and the Board of Science and Education. ISBN 0-7279-1647-5. /BMA (2004). Mobile Phones and Health: An Update. June 2004. Available at www.bma.org.uk .
4	Scientific Committee on Toxicology, Ecotoxicology and Environment, CSTE (2001). Opinion on possible effects of electromagnetic fields (EMFs), radio frequency fields (RF) and microwave radiation on human health. Expressed at the 27th CSTE plenary meeting, Brussels. October 2001. Brussels. C2/JCD/csteop/EMF/RFF30102001/D(OI), Scientific Committee on Toxicology, Ecotoxicology and the Environment.
5	US General Accounting Office, GAO (2001). Telecommunications: Research and Regulatory Efforts on Mobile Phone Health Issues. Report to Congressional Requesters. GAO-01-545. Washington DC, United States General Accounting Office. Available at www.gao.gov .
6	Royal Society of Canada: Krewski D, Byus CV, Glickman BW, Lotz WG, Mandeville R, McBride ML, Prato FS and Weaver DF (2001a). Potential health risks of radiofrequency fields from wireless telecommunication devices. J Toxicol Environ Health B Crit Rev, 4, i-143.
7	Royal Society of Canada: Krewski D, Byus CV, Glickman BW, Lotz WG, Mandeville R, McBride ML, Prato FS and Weaver DF (2001 b). Recent advances in research on radiofrequency fields and health. J Toxicol Environ Health B Crit Rev, 4, 145-59.
8	Zmirou D (2001). Mobile Phones, their Base Stations, and Health. Report to the French Health Directorate. Chairman, Denis Zmirou. France. Direction Generale de la Sante. Available at www.sante.gouv.fr . Summary in English also available on the website.
9	Health Council of the Netherlands, HCN (2002). Mobile Telephones: An Evaluation of Health Effects. Publication No. 2002/01E. The Hague, Health Council of the Netherlands.
10	French Senate Report : Lorraine J-L and Raoul D (2002). Rapport sur l'Incidence Eventuelle de la Telephonie Mobile sur la Sante. Paris, Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques.
11	Swedish Radiation Protection Authority: Boice JD and McLaughlin JK (2002). Epidemiologic Studies of Cellular Telephones and Cancer Risk -A Review. SSI Report 2002:16. Stockholm, Statens stralskyddsinstut. Available at www.ssi.se .
12	Advisory Group on Non-ionizing Radiation, AGNIR (2003). Health effects from radiofrequency electromagnetic fields. Report of an independent Advisory Group on Non-ionising Radiation. DocNRPB,14(2), 1-177. Available at www.nrpb.org
13	Swiss Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, BUWAL (2003). Hochfrequente Strahlung und Gesundheit. BUWAL Umwelt-Materialien Nr. 162. Bern, Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft. Available at www.umwelt-schweiz.ch .
14	Health Council of the Netherlands, HCN (2003). Health Effects of Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields: Recommendations for Research. Publication No. 2003/03. The Hague. Health Council of the Netherlands. 2003 (in Dutch). Executive summary in English available at www.healthcouncil.nl .
15	US National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP (2003). Biological Effects of Modulated Radiofrequency Fields. NCRP Commentary No.18. Bethesda MD, National Council on Radiation Protection and Measurements.
16	Swedish Radiation Protection Authority, SSI (2003). Recent Research on Mobile Telephony and Cancer and Other Selected Biological Effects: First Annual Report from SSI's Independent Expert Group on Electromagnetic Fields. Stockholm, Statens stralskyddsinstitut. Available at www.ssi.se .
17	Health Council of the Netherlands, HCN (2004a). Electromagnetic Fields: Annual Update 2003. Publication No. 2004/1. The Hague. Health Council of the Netherlands.
18	Health Council of the Netherlands, HCN (2004b). TNO Study on the Effects of GSM and UMTS Signals on Well-being and Cognition. Publication No. 2004/13E. The Hague. Health Council of the Netherlands.
19	International Commission on Non-ionizing Radiation Protection, ICNIRP (2004). Standing Committee on Epidemiology: A Ahlbom, A Green, L Kheifets, D Savitz and A Swerdlow. Epidemiology of health effects of radiofrequency exposure. Environ Health Perspect, 112, 1741-54.

20	Institution of Electrical Engineers, IEE (2004). The Possible Harmful Biological Effects of Low-level Electromagnetic Fields of Frequencies up to 300 GHz. IEE Position Statement. May 2004. London, Institute of Electrical Engineers, Available at www.iee.org .
21	Medicines and Healthcare Products Regulatory Agency, MHRA (2004). Mobile Communication Systems. London. Medicines and Healthcare products Regulatory Agency. Available at http://devices.mhra.gov.uk .
22	National Radiological Protection Board, NRPB (2004). Review of the scientific evidence for limiting exposure to electromagnetic fields (0-300 GHz). Doc NRPB,15(3), 1-215. Available at www.nrpb.org .
23	Nordic Authorities (2004). Mobile Telephony and Health - a common approach for the Nordic competent authorities. Stockholm, Statens stralskyddsinstitut. Available at www.ssi.se .
24	World Health Organization, WHO (2004). Sensitivity of Children to Electromagnetic Fields. Workshop held in June 2004, Istanbul, Turkey. The agenda, rapporteur report and presentations are available at www.who.int .

NRPB (2004a). Review of the scientific evidence for limiting exposure to electromagnetic fields (0-300 GHz). Doc NRPB,15(3), 1-215.

NRPB (2004b). Mobile phones and health: Report by Board of NRPB. Doc NRPB,15(5), 1-114.

NRPB (2005), A Summary of Recent Reports on Mobile Phones and Health, NRPB-W65. Available at www.nrpb.org.

6 むすび

高周波電磁界による生体影響についての最近の研究動向を調査し、報告した。携帯電話等から弱い高周波電磁界の影響に関する研究は、WHO の国際電磁界プロジェクトで調整されながら進められたため、疫学研究は IARC が国際共同研究として実施するなど、国際的な協力のもとで行われてきた。発がん性についての動物実験の結果もかなり出そろい、また疫学研究の結果が国内研究の結果から順次報告され始めている。少し遅れ気味ではあるが、環境保健基準文書の審議がこれらの結果を踏まえて進行することが期待される。

一方では、欧州の RELEX プロジェクトの研究報告のように、非常に限定された暴露条件でのみ見られる陽性結果を次々に報告する例も現れた。低周波では間歇暴露の場合にのみ影響があるという結果を、高周波では特定の波形のみで影響があるとする結果が報告されている。このように、暴露条件のわずかな違いで影響が異なるという解釈は、実験のばらつきとの判別を困難にする。したがって、暴露条件に特異的である可能性の根拠を明らかにすることが望まれる。そうでなければ、この問題が永久に不確実なままとなる恐れがある。

いずれにしても、早ければ 2005 年中には報告される国際共同研究 INTERPHONE 研究の結果によって、この問題の今後の方向の見通しが得られることが期待される。

付録

スウェーデンの疫学研究報告の概要

A. 携帯電話と聴神経腫瘍のリスク

S Lönn, A Ahlbom, P Hall, M Feychting (2004): Mobile phone use and the risk of acoustic neuroma. *Epidemiol* 15:653-659.

方法

方法は地域住民を対象にした症例対照研究(Population-based case-control study)である。

症例(Case)は、スウェーデンのストックホルム、エテボリ、ルンドの各地域がん登録がカバーする地域に居住し、1999-2000年の間に聴神経腫瘍の確定診断を受けた20-69歳の患者を対象にした。専門家が対象医療機関を調査し、同時に地域がん登録を調べた結果、把握されたのは160人、内16人は、病院調査では見落とされ、がん登録からのみ同定された。診断確定日と神経腫の部位(左右どちらか)を確認した。

対照(Control)は、年齢(5歳毎)、性別、居住地域で層化して、研究対象集団から無作為に選択された。人口登録は日々更新されるため、調査期間中、2ヶ月毎に選択作業をした。患者の診断確定日と調査で同定された日の平均的時間差を調整して、対照の同定された日を参照日とし、患者と対照のフォローアップ期間をマッチさせた。Interphone studyのプロトコルに準拠し、対照数は患者1人に対し、脳腫瘍の場合は1人、聴神経腫瘍は2人、耳下腺腫は3人を選んだので、本研究では全対照838人を分析に用いた。

表 A 1. 聴覚神経腫患者と対照の基本特性

参照日における年齢	患者	対照
	(n=148)	(n=604)
	%	%
20-39	18	21
40-59	57	52
60-69	24	27
性		
女性	46	52
男性	53	48
学歴		
義務教育(9年)	20	22
職業教育・二次教育	24	27
高等二次教育	18	20
大学	37	30
不明	1	1

調査期間

データ収集は2000年9月から開始。ただし調査対象とするがん登録は、ルンドとエテボリでは1999,9.1~2002,8.31、ストックホルムでは2000,1.1~2002,1.1のものである。

調査対象者（患者，対照）に対しては，同定後可能な限り直ちに電話接触し，個人インタビューの日取りを相談し，面会の同意が得られない場合は電話インタビューに，いずれのインタビューにも同意されない場合は郵送した質問紙（16 ページ）への回答を要請した。

コンピュータガイドによるインタビューを実施し，環境暴露（携帯電話を含む）に関する情報を得た。インタビュワーが直接回答を入力。携帯電話の機種などに関する情報は写真などのカードを提示する方法で提供した。インタビューは平均 46 分を要した。

暴露評価

6 ヶ月以上の期間に，1 週間に平均 1 回以上，携帯電話を使用した人を「規則的利用者」と定義した。

規則的利用者である場合，これまでに何台の携帯電話を使い，それぞれについて機種と使用暦，また通常電話を保持する側を聞いた。また，ハンズフリー装置の使用や，通話が都市部，郊外，田舎のどこでなされたかについても質問した。

携帯電話を使ったことがないか，ごくまれにしか使わない人を規則的利用者でないとし，非暴露対象者とした。また，参照日から 1 年以内の暴露は考慮に入れなかった。

規則的利用の使用期間は，5 年未満，5 - 9 年，10 年以上に分類。また，累積使用時間は，30 時間未満，30 - 449 時間，450 時間以上に分類した。累積通話回数は，625 回未満，625 - 7349 回，7350 回以上に分類した。ここで，分類のカットポイントは対照群の 25，75 パーセントイルである。

アナログ機とデジタル機は別々に分析した。またハンズフリー装置の使用については，次のように暴露量から差し引いた。

- ・ ほとんどいつもハンズフリー：暴露なし
- ・ 通話時間の半分以上はハンズフリー：使用時間の 75% を除外
- ・ 通話時間の半分はハンズフリー：使用時間の 50% を除外
- ・ 通話時間の半分以内はハンズフリー：使用時間の 25% を除外

携帯電話を保持する側は，対照群では，頭部の右側 52%，左側 39%，両側 10% であった。腫瘍発生部位により，患者を右側群，左側群に分類。対照を無作為に（年齢，性別，地域による層化の範囲内で）右，左に分類。この分類と同側使用の場合暴露あり，反対側使用の場合暴露なしをみなし，使用側特異の相対リスク推定値を計算した。

患者が同側使用を過剰に報告する可能性があるというリコールバイアスの検討のため，反対側使用あるいは両使用を暴露ありとみなした場合，または同側使用を暴露なしとみなした場合について，同様の値を検討した。

携帯電話のほか，DECT 電話（注：日本の PHS に類似のコードレス電話）が聴神経腫瘍のリスクを増大させるか否かについても検討した。暴露評価のクライテリアは携帯電話のものと同じとした。

交絡因子，修飾因子

年齢，性別，地域のほかに学歴（4 段階），参照日より 5 年以前の聴覚損失や耳鳴りの有無を考

慮した。聴力で分類した分析も行った。携帯電話からの暴露は基地局との交信に使用される出力電力に直接的に関連する。出力レベルは都市部より田舎の方が高い。携帯電話を主に都市部で使用したと回答した人と、主に田舎で使用したと回答した人、両方で使用した人に分けた分析も行った。

結果

暴露情報が得られたのは、患者 **148** 例(回答率 **93%**)、対照 **604** 例(回答率 **72%**)であった。主要な分析結果は次の通りである。

1. 規則的利用者の聴神経腫瘍のオッズ比は **1.0**(95%信頼区間は **0.6-1.5**)であった。
2. 使用後 **10** 年では、相対リスク推定値は **1.9**(**0.9-4.1**)に増大した。
3. 腫瘍と同側での使用者に限定した場合、**2.**と同様の値は **3.9** (**1.6-9.5**) であった。