

表 8. 低周波 (ELF) 領域で論文筆者が影響なしと結論している文献

著者	研究分類	指標	RR, OR	備考
Foliat et al. ⁽²⁹⁾	Case only	小児白血病	磁場のばく露強度と白血病発症時の病態指標との相関はない。	482人のcaseを分析 うち412人から磁場の実測データを取得
Mezei et al. ⁽³⁰⁾	Case-Control	小児白血病	Very High 1.3(0.8-2.1) (1999年論文では1.6(1.0-2.6)であった)	1999年のカナダ研究の再評価 参加率と所得の関連に注目し再計算すると有意差が否定される
Johansen et al. ⁽³¹⁾	Cohort	白血病 乳がん 脳腫瘍	ばく露 中レベル 大レベル 白血病 0.97 1.04 乳がん 0.80 0.69 脳腫瘍 0.77 1.04	電気事業者の調査 対象者: 28224名, 642108人年
Hoffmann et al. ⁽³²⁾	Case-Control	白血病・リンパ腫	電磁界の相関に関して記述なし ただし3.2%が家庭で0.2μT以上	Case 1430, Control 3041 農薬、放射線、ELFなど総合的に検討
Vochet et al. ⁽³³⁾	ポランティア	視覚	影響なし	490Hz、50サイクル、20mT
Karipidis et al. ⁽³⁴⁾	Case-Control	脳腫瘍	ALL Glioma 1.4 (0.85-2.27) High grade Glioma 1.51 (0.90-2.53)	Case 414, Control 421 ELFのばく露はJob Exposure Matrixによる。
Davis et al. ⁽³⁵⁾	Case-Control	乳がん	有意差は認めない	Case 744, control 711 EMFはEMDEX IIで測定
O'Leary et al. ⁽³⁶⁾	Case-Control	乳がん	相関をみとめない	Case 576, Control 585 シフト制勤務の影響を調べた論文 寝ている間に明かりを点けた場合1.65(1.02-2.62)
Seider et al. ⁽³⁷⁾	Case-Control	神経疾患 痴呆	相関を認めない ただしBlueカラー労働者において増加	Case 195, control 229 職業性ばく露を職業で分類。

表 8 続き

著者	研究分類	指標	RR、OR	備考
Yamazaki et al. ⁽³⁸⁾	Cross-sectional	メンタルヘルス	poorMental Health 1.87(0.35-10.13) (送電線から100m以内の人)	N=233 日本の小児白血病研究に参加した子の母 親 SF-32による。
Fan-Lin et al. ⁽³⁹⁾	Cross-sectional	電磁界強度	リスクの数値未計算	学校の電磁界調査
Evei et al. ⁽⁴⁰⁾	Cross-sectional	磁界測定のみ	実態調査	
Szabo et al. ⁽⁴¹⁾	Cross-sectional	磁界測定のみ	実態調査	ハンガリーのソーイングマシンオペレーター
Shuz et al. ⁽⁴²⁾	Cross-sectional	過敏症	実態調査	少数のパイロット的研究
Savitz et al. ⁽⁴³⁾	ボランティア	妊婦のばく露	実態調査	妊婦の行動が活発だと磁界のばく露が多い
Mezei et al. ⁽⁴⁴⁾	Case-Control	活動とばく露	実態調査	磁界ばく露の強さと行動に関して関連がある 流産に関与しているのは行動かもしれない

表9 高周波 (RF) 領域で論文筆者が影響なしと結論している文献

著者	研究分類	指標	RR、OR	備考
Marzenich et al. ⁽⁴⁵⁾	Case-Control	小児白血病	電場が強い場合 0.86(0.67-1.11) 距離が近い場合 1.04(0.65-1.67)	放送タワー近傍で小児白血病のリスクがあるか 検証
Kleinlogel et al. ⁽⁴⁶⁾	ボランティア	Well being, EEG	影響なし	Case 1959, Control 5848 携帯端末によるばく露 健康人15人対象
Kleinlogel et al. ⁽⁴⁷⁾	ボランティア	認知	影響なし	携帯端末によるばく露 健康人15人対象
Thomas et al. ⁽⁴⁸⁾	Cross-sectional	Well being	影響なし	携帯周波数の個人ばく露(24H値)を調査 329人が対象
Takebayashi et al. ⁽⁴⁹⁾	Case-Control	脳腫瘍 神経膠腫	携帯電話のregular user Glioma 1.22 (0.63-2.37) Meningioma 0.70(0.42-1.16)	Interphone(日本) Glioma Case88, Meningioma Case 132, Pituitary adenoma Case102 total control 322 磁界強度で分けても影響なし
Hepworth et al. ⁽⁵⁰⁾	Case-Control	脳腫瘍	携帯電話の利用(対未利用者) 1.5-4年 GliomaのOR 0.9 (0.7-1.1) 5-9年 1.0 (0.8-1.3) 10年以上 0.9 (0.6-1.3)	Interphone(イギリス)
Klaeboe et al. ⁽⁵¹⁾	Case-Control	脳腫瘍 神経膠腫 聴神経腫	携帯電話のregular user Glioma 0.6(0.4-0.9) Meningioma 0.8(0.5-1.1) acoustic neuroma 0.5 (0.2-1.0)	ノルウェーの研究 Glioma case 289, Meningioma case 207, acoustic neuroma 45 control 358
Blettner et al. ⁽⁵²⁾	Case-Control	脳腫瘍	影響なし	Interphone(ドイツ)の関連研究 医用放射線ばく露ならびにRFばく露の関係 RFばく露と放射線の相互作用もない

表9 つづき

著者	研究分類	指標	RR、OR	備考
Schlehofer et al. ⁽⁵³⁾	Case-Control	聴神経腫	携帯電話のregular user Acoustic neuroma 0.67(0.38-1.19)	Interphone(ドイツ)の関連研究 case 97, control 194
Davidson et al. ⁽⁵⁴⁾	Cross-sectional	聴覚	携帯電話の影響なし	調査票による 117名の調査 携帯の使用率は98%
Lonn et al. ⁽⁵⁵⁾	Case-Control	耳下腺がん	携帯電話のregular user Malignant tumor 0.7(0.4-1.3) Benign tumor 0.9(0.5-1.5)	デンマーク、スウェーデンの共同研究 Malignant parotid gland tumor case 60 Benign parotid gland tumor case 112 control 681
Johanssen et al. ⁽⁵⁶⁾	ボランティア	生理指標 HR, HRV, 他	影響なし	15名のアトピー患者、15名の対照者で携帯電話使用時に指標に変化があるか調べた。 通話時間はGSM携帯で30分
Furubayashi et al. ⁽⁵⁷⁾	ボランティア	反応時間 心理指標 生理指標	影響なし	携帯基地局を想定したばく露をおこなった。 WCDMA 30分間のばく露で影響なし。 11人のMPRSと43人のcontrol
Eltiti et al. ⁽⁵⁸⁾	ボランティア	反応時間 生理指標 hifuteikou	影響なし	携帯基地局(GSMとUMTS波)を想定したばく露をおこなった。 56人のEHSと120人のcontrol
Oftedal et al. ⁽⁵⁹⁾	ボランティア	頭痛	影響なし	携帯電話の使用で頭痛を感じると訴える人65人 30分間のばく露で、頭痛の程度と電波の関係を調べた
Nam et al. ⁽⁶⁰⁾	ボランティア	生理指標 皮膚抵抗	影響なし(ただし皮膚抵抗に一部有意差有り)	CDMA携帯による影響 21人の若者(10代)および21人の成人
Wilen et al. ⁽⁶¹⁾	ボランティア	生理指標 記憶 反応時間	電波の有無による影響はなし	GSM基地局を想定したばく露 20人のMPRSと20人の対照。
Nieto-Hernandez ⁽⁶²⁾	ボランティア	電波の感知 症状	質的検討であり、統計的には不明	EHSの一部に他と異なるデータが見られたが、機序は不明

○中間周波電磁界の健康影響に関する研究動向について

中間周波領域においては生体に対する作用を直接的に示すデータが国際的にも不足しており、2007年6月発刊されたWHO環境保健クライテリア (EHC No. 238)⁽¹⁾ においても、中間周波領域の生体影響に関する研究の推進が第1番目に勧告されている。具体的には、EHCの「第1章、1.2 研究のための提言」では、「包括的なニーズとして、この分野では現在データが不足していることから、一般的に300 Hz から10 MHz までの周波数を意味する中間周波数 (IF) に関する詳細な研究が求められている。

中間周波電磁界の利用は、以前は工業用の誘導加熱と医療用のパルス磁気治療を除けば、余り目立っていなかった。しかし最近の電磁界利用の広がりとともに、様々な用途に使用されるようになってきている。

中間周波電磁界を使う物の中でも、近年、電磁 (IH) 調理器普及が著しく、その健康影響に関しても特に市民の関心が高い。家庭用 IH 調理器は主に20 kHz の周波数帯を利用する物が主流であり、当然であるが、20 kHz の電磁界が発生する。しかしながら IH 調理器で使用する電磁界波形で生体影響を評価した論文は少ないがこれまでの知見をまとめることとする。

20 kHz の中間周波電磁界に関する変異原性試験等の細胞実験については、我が国の宮越らが報告をおこなっている⁽⁶³⁾ ⁽⁶⁴⁾が、ヒト細胞を用いた突然変異誘発については報告がなく、また、動物を使用した突然変異誘発の有無を検討した結果もない。したがって、これらを網羅的に検討することは必要であると考えられる。

ほ乳動物を用いた実験について最近の報告では、韓国の Lee YS らのグループによる一

連の研究がある。彼らは20 kHz で6.5 μT (国際非電離放射線防護委員会 (ICNIRP) のガイドライン) の鋸歯型波形 (注: IH 調理器の波形とは異なる) を持つ磁場でラットをその影響を調べている。彼らの報告によれば、1日8時間のばく露を妊娠期間中におこなっても、仔数の変化や仔の奇形に影響はなかった⁽⁶⁵⁾。また、同様のばく露を、90日、12ヶ月、18ヶ月おこなっても、体や臓器のサイズ、尿や血液の生化学的指標に差がないことを示した⁽⁶⁶⁾ ⁽⁶⁷⁾。さらに、DMBAの塗布で誘発された乳がん、肺がん、皮膚がんのプロモーション効果について検討し、上記のばく露では影響がないことを示した⁽⁶⁸⁾。しかしながら一部の実験では、好中球やリンパ球数の変化があり検討が必要であると指摘している。彼らの実験での波形は IH 調理器からの電磁界の波形と異なることと、長時間ばく露とはいえ、その強度がそれほど高くないこと考慮すると、IH 調理器の生体影響評価にそのまま適用することは妥当ではない。

近年、我が国の財団法人電力中央研究所では中間周波の健康影響評価としていくつかの研究を報告している。多くはまだピアレビューされた論文として未発表であるが、結果は Web 上で公開されているので紹介する。細胞実験においては、2 kHz で910 μT (国際ガイドラインの146倍)、20 kHz では、1.1 mT (同176倍)、60 Hz では110 μT (同18倍) の磁界をばく露し、指標としては、助変異原性⁽⁶⁹⁾、小核試験⁽⁷⁰⁾、マウスリンフォーマ試験⁽⁷¹⁾を行い、いずれも再現性のある有意なばく露の影響はなかったとしている。また、器官成長期鶏胚を用いた発生毒性評価を行い、20 kHz、1.1 mT (rms) (ICNIRP 公衆ガイドラインの176倍) の垂直磁界をふ卵開始から11日間ばく露する実験を行ったが影響は見られなかった⁽⁷²⁾。一方で小動物に対して20 kHz、0.20 mT (rms) (ICNIRP 公衆ガイドラインの

32倍) または60 kHz、0.10 mT(rms) の正弦波の垂慢性ばく露が可能な専用の施設を設営⁽⁷³⁾し、ラットに20 kHz、0.20 mT(rms)

(ICNIRP 公衆ガイドラインの32倍) または60 kHz、0.10 mT(rms) の正弦波、垂直磁界を1日22時間、14日間ばく露したが急性毒性は見られないという結果であった⁽⁷⁴⁾。

以上のように、中間周波(特にIH調理器が使用している20kHz)の研究については未だに限定的な結果のみであり、今後、健康リスクを評価し、安全・安心を担保するためにはさらなる研究が必要である。

○IH調理器使用によるコンタクト電流による健康影響(特に心伝導系について)の発生リスクに関する調査

一般的に我々が電気を使用するに当たっては常に危険が伴っている。しかし、正しく設置された電気機器を使用する範囲においては、その危険リスクは最小限に抑えられていると言っても過言ではない。電気機器の設置については、「電気設備に関する技術基準を定める省令(平成9年3月27日通商産業省令第52号)」の第4条では「電気設備は、感電、火災、その他人体に危害を及ぼし、又は物件に損傷を与えるおそれがないように施設しなければならない」とあり、同272条において、IEC60364規格の採用が唱われている。IEC60364規格とは国際電気標準会議(IEC)が定めた建築電気設備の国際規格であり、その中心となる部分に感電保護をはじめとする安全保護が述べられている。なお、このIEC60364はJIS規格にも反映されており、JIS C0364はIEC60364と同等である。JIS C0364では「人または動物の体を通過する電流から引き起こされる生理学的効果」を「感電」と定義している。したがって感電とは厳

密には人体を電流が通過しこれを知覚することをいうが、この知覚すること自体は必ずしも危険とはいえない。知覚される電流よりもさらに強い電流により、人体に影響が見られる反応を電撃反応といい区別する場合がある。このような背景から、感電保護は電撃保護のことを指す場合が多い。

一般的に、感電の度合いには、「電流を感知して少しちくちくする」というレベルから、「心室細動が発生する」レベルまで、様々である。報告によると人体の電流感知に関しては、高周波になればなるほど感じにくくなることが知られており、おおよそ1kHzまでの周波数に対しては、ほぼ等しい反応を示すことが示されている。

表9には人体に対する電流の作用としてまとめられているものを引用した。これによれば、商用周波(50~60Hz)では1mAが感知電流の閾値である。また、1kHzの周波数を超える電流については、周波数に比例して閾値が上昇する、つまり1kHzを超える電流にはだんだん感じにくくなることが知られており、表10中に示されている10kHzの例では、感知電流が12mA(男性)である。

心室細動の可能性に関してはさらに閾値が高い。表10には通電時間も考慮された値が示されているが、10kHzでは1100mA(男性・0.03秒接触の場合)、500mA(男性・3秒接触の場合)であり、電磁(IH)調理器で利用されているのが20kHzであることを考慮すると、この2倍が閾値であると想定できる。確実に心室細動が発生するという条件を考えると、上記の数値に2.75倍をかけた数値が閾値となる推定が可能である。

独・製品評価技術基盤機構等による調査では、IH調理器を使用した際に人に流れる接触電流値が、最悪の条件での測定で2.458mA(主要周波数20kHz)であったが、たとえこの条件であっても表10の値と照らし合わせれば、

心臓の活動への影響はないことが推察される。

D. 結論

2006年～2008年の間に発刊された低周波および高周波電磁界の健康影響についての疫学論文ならびにヒトを対象とする実験研究について、網羅的に収集し、論文の内容をレビューした。その結果、「影響あり」としている論文もあるが、そのうち多くは調査手法ならびに解析方法が不十分であったり、例数が少ないなど何らかの問題を抱えているものであった。従って、低周波においては2007年に発刊されたEHC238の結論を変える必要はないと考えられた。また、高周波電磁界、特に携帯電話の使用による健康への影響

に関しては、2009年中に、IARCのインターフォン研究の共同分析(メタアナリシス)の結果が発表される見込みであることから、この結果に着目する必要があると考えられる。

一方、IH調理器を中心とした中間周波数電磁界の健康影響ならびに生体影響はまだ発表自体が限られている段階で、包括的なリスク評価を行うにはデータが不十分であり、今後、多くの研究が必要であると考えられた。本研究では、接触電流による影響についても考察したが、それに関しては、感電反応により生体が影響を受ける可能性はないと考えられた。

表10 人体に対する電流の作用(実験値)

電撃の影響	直流		交流			
			60Hz		10000Hz	
	男子	女子	男子	女子	男子	女子
感知電流、少しちくちくする	5.2mA	3.5mA	1.1mA	0.7mA	12mA	8mA
苦痛を伴わないショック、筋肉の自由がきく	9	6	1.8	1.2	17	11
苦痛を伴うショック、ただし、筋肉の自由がきく	62	41	9	6	55	37
苦痛を伴うショック、離脱の限界	74	50	16	10.5	75	50
苦痛を伴うはげしいショック、筋肉硬直、呼吸困難	-	-	23	15	94	63
心室細動の可能性あり、通電時間						
	0.03sec	1300	1300	1000	1000	1100 1100
"	3.0sec	500	500	100	100	500 500
心室細動が確実に発生する	上記の値を2.75倍する。					

資料出典:電気工事士教科書 (社)日本電気協会

(財団法人省エネルギーセンターのHPより引用 <http://www.eccj.or.jp/>)

E 参考文献

1. WHO. Extremely Low Frequency Fields. Geneva, Switzerland: World Health Organization 2007.
2. Svendsen AL, Weihkopf T, Kaatsch P, Schuz J. Exposure to magnetic fields and survival after diagnosis of childhood leukemia: a German cohort study. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 2007 Jun;16(6):1167-71.
3. Foliart DE, Pollock BH, Mezei G, Iriye R, Silva JM, Ebi KL, et al. Magnetic field exposure and long-term survival among children with leukaemia. *Br J Cancer.* 2006 Jan 16;94(1):161-4.
4. Feizi AA, Arabi MA. Acute childhood leukemias and exposure to magnetic fields generated by high voltage overhead power lines - a risk factor in Iran. *Asian Pac J Cancer Prev.* 2007 Jan-Mar;8(1):69-72.
5. Mejia-Arangure JM, Fajardo-Gutierrez A, Perez-Saldivar ML, Gorodezky C, Martinez-Avalos A, Romero-Guzman L, et al. Magnetic fields and acute leukemia in children with Down syndrome. *Epidemiology.* 2007 Jan;18(1):158-61.
6. Pearce MS, Hammal DM, Dorak MT, McNally RJ, Parker L. Paternal occupational exposure to electro-magnetic fields as a risk factor for cancer in children and young adults: a case-control study from the North of England. *Pediatr Blood Cancer.* 2007 Sep;49(3):280-6.
7. Kabuto M, Nitta H, Yamamoto S, Yamaguchi N, Akiba S, Honda Y, et al. Childhood leukemia and magnetic fields in Japan: a case-control study of childhood leukemia and residential power-frequency magnetic fields in Japan. *Int J Cancer.* 2006 Aug 1;119(3):643-50.
8. Kheifets L, Swanson J, Greenland S. Childhood leukemia, electric and magnetic fields, and temporal trends. *Bioelectromagnetics.* 2006 Oct;27(7):545-52.
9. Roosli M, Lortscher M, Egger M, Pfluger D, Schreier N, Lortscher E, et al. Leukaemia, brain tumours and exposure to extremely low frequency magnetic fields: cohort study of Swiss railway employees. *Occup Environ Med.* 2007 Aug;64(8):553-9.
10. Bunin GR, Robison LL, Biegel JA, Pollack IF, Rorke-Adams LB. Parental heat exposure and risk of childhood brain tumor: a Children's Oncology Group study. *Am J Epidemiol.* 2006 Aug 1;164(3):222-31.
11. Roosli M, Lortscher M, Egger M, Pfluger D, Schreier N, Lortscher E, et al. Mortality from neurodegenerative disease and exposure to extremely low-frequency magnetic fields: 31 years of observations on Swiss railway employees. *Neuroepidemiology.* 2007;28(4):197-206.
12. McElroy JA, Egan KM, Titus-Ernstoff L, Anderson HA, Trentham-Dietz A, Hampton JM, et al. Occupational exposure to electromagnetic field and breast cancer risk in a large, population-based, case-control study in the United States. *J Occup Environ Med.* 2007 Mar;49(3):266-74.
13. Peplonska B, Stewart P, Szeszenia-Dabrowska N, Rusiecki J, Garcia-Closas M, Lissowska J, et al. Occupation and breast cancer risk in Polish women: a population-based

- case-control study. *Am J Ind Med.* 2007 Feb;50(2):97-111.
14. Lope V, Perez-Gomez B, Aragonés N, Lopez-Abente G, Gustavsson P, Floderus B, et al. Occupational exposure to ionizing radiation and electromagnetic fields in relation to the risk of thyroid cancer in Sweden. *Scand J Work Environ Health.* 2006 Aug;32(4):276-84.
15. Karipidis K, Benke G, Sim M, Fritschi L, Yost M, Armstrong B, et al. Occupational exposure to power frequency magnetic fields and risk of non-Hodgkin lymphoma. *Occup Environ Med.* 2007 Jan;64(1):25-9.
16. Mester B, Nieters A, Deeg E, Elsnér G, Becker N, Seidler A. Occupation and malignant lymphoma: a population based case control study in Germany. *Occup Environ Med.* 2006 Jan;63(1):17-26.
17. Abel EL, Hendrix SL, McNeeley GS, O'Leary ES, Mossavar-Rahmani Y, Johnson SR, et al. Use of electric blankets and association with prevalence of endometrial cancer. *Eur J Cancer Prev.* 2007 Jun;16(3):243-50.
18. Eriksson NM, Stenberg BG. Baseline prevalence of symptoms related to indoor environment. *Scand J Public Health.* 2006;34(4):387-96.
19. Fadel RA, Salem AH, Ali MH, Abu-Saif AN. Growth assessment of children exposed to low frequency electromagnetic fields at the Abu Sultan area in Ismailia (Egypt). *Anthropol Anz.* 2006 Jun;64(2):211-26.
20. Schrottner J, Leitgeb N, Hillert L. Investigation of electric current perception thresholds of different EHS groups. *Bioelectromagnetics.* 2007 Apr;28(3):208-13.
21. Berg G, Spallek J, Schüz J, Schlehofer B, Bohler E, Schläefer K, et al. Occupational exposure to radio frequency/microwave radiation and the risk of brain tumors: Interphone Study Group, Germany. *Am J Epidemiol.* 2006 Sep 15;164(6):538-48.
22. Schüz J, Bohler E, Berg G, Schlehofer B, Hettlinger I, Schläefer K, et al. Cellular phones, cordless phones, and the risks of glioma and meningioma (Interphone Study Group, Germany). *Am J Epidemiol.* 2006 Mar 15;163(6):512-20.
23. Ha M, Im H, Lee M, Kim HJ, Kim BC, Gimm YM, et al. Radio-frequency radiation exposure from AM radio transmitters and childhood leukemia and brain cancer. *Am J Epidemiol.* 2007 Aug 1;166(3):270-9.
24. Møllerlokken OJ, Moen BE. Is fertility reduced among men exposed to radiofrequency fields in the Norwegian Navy? *Bioelectromagnetics.* 2008 Jul;29(5):345-52.
25. Preece AW, Georgiou AG, Dunn EJ, Farrow SC. Health response of two communities to military antennae in Cyprus. *Occup Environ Med.* 2007 Jun;64(6):402-8.
26. Mjoen G, Saetre DO, Lie RT, Tynes T, Blaasaas KG, Hannevik M, et al. Paternal occupational exposure to radiofrequency electromagnetic fields and risk of adverse pregnancy outcome. *Eur J Epidemiol.* 2006;21(7):529-35.
27. Stankiewicz W, Dabrowski MP, Kubacki R, Sobiczewska E, Szmigielski S. Immunotropic influence of 900 MHz microwave GSM signal on human blood immune

cells activated in vitro. *Electromagn Biol Med.* 2006;25(1):45-51.

28. Vangelova K, Deyanov C, Israel M. Cardiovascular risk in operators under radiofrequency electromagnetic radiation. *Int J Hyg Environ Health.* 2006 Mar;209(2):133-8.

29. Foliart DE, Mezei G, Iriye R, Silva JM, Ebi KL, Kheifets L, et al. Magnetic field exposure and prognostic factors in childhood leukemia. *Bioelectromagnetics.* 2007 Jan;28(1):69-71.

30. Mezei G, Spinelli JJ, Wong P, Borugian M, McBride ML. Assessment of selection bias in the Canadian case-control study of residential magnetic field exposure and childhood leukemia. *Am J Epidemiol.* 2008 Jun 15;167(12):1504-10.

31. Johansen C, Raaschou Nielsen O, Olsen JH, Schuz J. Risk for leukaemia and brain and breast cancer among Danish utility workers: a second follow-up. *Occup Environ Med.* 2007 Nov;64(11):782-4.

32. Hoffmann W, Terschueren C, Heimpel H, Feller A, Butte W, Hostrup O, et al. Population-based research on occupational and environmental factors for leukemia and non-Hodgkin's lymphoma: the Northern Germany Leukemia and Lymphoma Study (NLL). *Am J Ind Med.* 2008 Apr;51(4):246-57.

33. de Vocht F, Liket L, De Vocht A, Mistry T, Glover P, Gowland P, et al. Exposure to alternating electromagnetic fields and effects on the visual and visuomotor systems. *Br J Radiol.* 2007 Oct;80(958):822-8.

34. Karipidis KK, Benke G, Sim MR, Kauppinen T, Giles G. Occupational exposure to ionizing and non-ionizing radiation and risk of glioma. *Occup Med (Lond).* 2007 Oct;57(7):518-24.

35. Davis S, Mirick DK. Residential magnetic fields, medication use, and the risk of breast cancer. *Epidemiology.* 2007 Mar;18(2):266-9.

36. O'Leary ES, Schoenfeld ER, Stevens RG, Kabat GC, Henderson K, Grimson R, et al. Shift work, light at night, and breast cancer on Long Island, New York. *Am J Epidemiol.* 2006 Aug 15;164(4):358-66.

37. Seidler A, Geller P, Nienhaus A, Bernhardt T, Ruppe I, Eggert S, et al. Occupational exposure to low frequency magnetic fields and dementia: a case-control study. *Occup Environ Med.* 2007 Feb;64(2):108-14.

38. Yamazaki S, Sokejima S, Mizoue T, Eboshida A, Kabuto M, Yamaguchi N, et al. Association between high voltage overhead transmission lines and mental health: a cross-sectional study. *Bioelectromagnetics.* 2006 Sep;27(6):473-8.

39. Lin IF, Li CY, Wang JD. Analysis of individual- and school-level clustering of power frequency magnetic fields. *Bioelectromagnetics.* 2008 Oct;29(7):564-70.

40. Evci ED, Bilgin MD, Akgor S, Zencirci SG, Ergin F, Beser E. Measurement of selected indoor physical environmental factors in hairdresser salons in a Turkish City. *Environ Monit Assess.* 2007 Nov;134(1-3):471-7.

41. Szabo J, Mezei K, Thuroczy G,

- Mezei G. Occupational 50 Hz magnetic field exposure measurements among female sewing machine operators in Hungary. *Bioelectromagnetics*. 2006 Sep;27(6):451-7.
42. Schuz J, Petters C, Egle UT, Jansen B, Kimbel R, Letzel S, et al. The "Mainzer EMF-Wachhund": results from a watchdog project on self-reported health complaints attributed to exposure to electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics*. 2006 May;27(4):280-7.
43. Savitz DA, Herring AH, Mezei G, Evenson KR, Terry JW, Jr., Kavet R. Physical activity and magnetic field exposure in pregnancy. *Epidemiology*. 2006 Mar;17(2):222-5.
44. Mezei G, Bracken TD, Senior R, Kavet R. Analyses of magnetic-field peak-exposure summary measures. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2006 Nov;16(6):477-85.
45. Merzenich H, Schmiedel S, Bennack S, Bruggemeyer H, Philipp J, Blettner M, et al. Childhood leukemia in relation to radio frequency electromagnetic fields in the vicinity of TV and radio broadcast transmitters. *Am J Epidemiol*. 2008 Nov 15;168(10):1169-78.
46. Kleinlogel H, Dierks T, Koenig T, Lehmann H, Minder A, Berz R. Effects of weak mobile phone - electromagnetic fields (GSM, UMTS) on well-being and resting EEG. *Bioelectromagnetics*. 2008 Sep;29(6):479-87.
47. Kleinlogel H, Dierks T, Koenig T, Lehmann H, Minder A, Berz R. Effects of weak mobile phone - electromagnetic fields (GSM, UMTS) on event related potentials and cognitive functions. *Bioelectromagnetics*. 2008 Sep;29(6):488-97.
48. Thomas S, Kuhnlein A, Heinrich S, Praml G, Nowak D, von Kries R, et al. Personal exposure to mobile phone frequencies and well-being in adults: a cross-sectional study based on dosimetry. *Bioelectromagnetics*. 2008 Sep;29(6):463-70.
49. Takebayashi T, Varsier N, Kikuchi Y, Wake K, Taki M, Watanabe S, et al. Mobile phone use, exposure to radiofrequency electromagnetic field, and brain tumour: a case-control study. *Br J Cancer*. 2008 Feb 12;98(3):652-9.
50. Hepworth SJ, Schoemaker MJ, Muir KR, Swerdlow AJ, van Tongeren MJ, McKinney PA. Mobile phone use and risk of glioma in adults: case-control study. *BMJ*. 2006 Apr 15;332(7546):883-7.
51. Klæboe L, Blaasaas KG, Tynes T. Use of mobile phones in Norway and risk of intracranial tumours. *Eur J Cancer Prev*. 2007 Apr;16(2):158-64.
52. Blettner M, Schlehofer B, Samkange-Zeeb F, Berg G, Schlaefer K, Schuz J. Medical exposure to ionising radiation and the risk of brain tumours: Interphone study group, Germany. *Eur J Cancer*. 2007 Sep;43(13):1990-8.
53. Schlehofer B, Schlaefer K, Blettner M, Berg G, Bohler E, Hettinger I, et al. Environmental risk factors for sporadic acoustic neuroma (Interphone Study Group, Germany). *Eur J Cancer*. 2007 Jul;43(11):1741-7.
54. Davidson HC, Lutman ME. Survey of mobile phone use and their chronic effects

- on the hearing of a student population. *Int J Audiol.* 2007 Mar;46(3):113-8.
55. Lonn S, Ahlbom A, Christensen HC, Johansen C, Schuz J, Edstrom S, et al. Mobile phone use and risk of parotid gland tumor. *Am J Epidemiol.* 2006 Oct 1;164(7):637-43.
56. Johansson A, Forsgren S, Stenberg B, Wilen J, Kalezic N, Sandstrom M. No effect of mobile phone-like RF exposure on patients with atopic dermatitis. *Bioelectromagnetics.* 2008 Jul;29(5):353-62.
57. Furubayashi T, Ushiyama A, Terao Y, Mizuno Y, Shirasawa K, Pongpaibool P, et al. Effects of short-term W-CDMA mobile phone base station exposure on women with or without mobile phone related symptoms. *Bioelectromagnetics.* 2009 Feb;30(2):100-13.
58. Eltiti S, Wallace D, Ridgewell A, Zougkou K, Russo R, Sepulveda F, et al. Does short-term exposure to mobile phone base station signals increase symptoms in individuals who report sensitivity to electromagnetic fields? A double-blind randomized provocation study. *Environ Health Perspect.* 2007 Nov;115(11):1603-8.
59. Oftedal G, Straume A, Johnsson A, Stovner LJ. Mobile phone headache: a double blind, sham-controlled provocation study. *Cephalalgia.* 2007 May;27(5):447-55.
60. Nam KC, Kim SW, Kim SC, Kim DW. Effects of RF exposure of teenagers and adults by CDMA cellular phones. *Bioelectromagnetics.* 2006 Oct;27(7):509-14.
61. Wilen J, Johansson A, Kalezic N, Lyskov E, Sandstrom M. Psychophysiological tests and provocation of subjects with mobile phone related symptoms. *Bioelectromagnetics.* 2006 Apr;27(3):204-14.
62. Nieto-Hernandez R, Rubin GJ, Cleare AJ, Weinman JA, Wessely S. Can evidence change belief? Reported mobile phone sensitivity following individual feedback of an inability to discriminate active from sham signals. *J Psychosom Res.* 2008 Nov;65(5):453-60.
63. Miyakoshi J, Horiuchi E, Nakahara T, Sakurai T. Magnetic fields generated by an induction heating (IH) cook top do not cause genotoxicity in vitro. *Bioelectromagnetics.* 2007 Oct;28(7):529-37.
64. Fujita A, Hirota I, Kawahara Y, Omori H. Development and evaluation of intermediate frequency magnetic field exposure system for studies of in vitro biological effects. *Bioelectromagnetics.* 2007 Oct;28(7):538-45.
65. Kim SH, Song JE, Kim SR, Oh H, Gimm YM, Yoo DS, et al. Teratological studies of prenatal exposure of mice to a 20 kHz sawtooth magnetic field. *Bioelectromagnetics.* 2004 Feb;25(2):114-7.
66. Kim SH, Lee HJ, Choi SY, Gimm YM, Pack JK, Choi HD, et al. Toxicity bioassay in Sprague-Dawley rats exposed to 20 kHz triangular magnetic field for 90 days. *Bioelectromagnetics.* 2006 Feb;27(2):105-11.
67. Lee HJ, Kim SH, Choi SY, Gimm YM, Pack JK, Choi HD, et al. Long-term exposure of Sprague Dawley rats to 20 kHz triangular

magnetic fields. *Int J Radiat Biol.* 2006
Apr;82(4):285-91.

68. Lee HJ, Choi SY, Jang JJ, Gimm YM,
Pack JK, Choi HD, et al. Lack of promotion
of mammary, lung and skin tumorigenesis by
20 kHz triangular magnetic fields.

Bioelectromagnetics. 2007
Sep;28(6):446-53.

69. Nakasono S, Ikehata M, Dateki M,
Yoshie S, Shigemitsu T and Negishi T,
“Intermediate frequency magnetic fields
do not have mutagenic, co-mutagenic or
gene conversion potentials in microbial
genotoxicity tests”, *Mutation Research*,
649, 187-200 (2008)

70. 中園聡 他. 中間周波磁界の生物影
響評価 - 哺乳類細胞を用いた小核試験によ
る遺伝毒性評価 -、電力中央研究所報告、報
告書番号 V06007、2007 年 5 月

71. 中園聡 他. 中間周波磁界の生物影
響評価 - マウスリンフォーマ試験による遺
伝毒性評価 -、電力中央研究所報告、報告書
番号 V07005、2008 年 5 月

72. T, Yamazaki K, Kawahara Y, Haga A,
Kobayashi K, Muramatsu K. A newly designed
and constructed 20 kHz magnetic field
exposure facility for in vivo study.

Bioelectromagnetics. 2009
Jan;30(1):36-44.

73. 西村泉、根岸正. 中間周波磁界の生
物影響評価 - 発生初期から器官成長期の
鶏胚による 60 kHz 磁界の発生毒性評価 -、
電力中央研究所報告、報告書番号 V08002、
2008 年 7 月

74. 西村泉、根岸正. 中間周波磁界の生
物影響評価 - ラットを用いた 20 kHz およ
び 60 kHz 磁界の急性毒性評価 -、電力中央
研究所報告、報告書番号 V08003、2008 年 7
月

電磁界の神経系への生体影響に関する研究

分担研究者： 東京大学環境安全本部准教授 梅景 正

研究要旨

脳部位、対象とする細胞、影響を起こすメカニズムに分けて文献研究をおこなった。今後、理論的に機序を考察することで実験的な研究を進めるあたり参考となると考えられる。こうした研究には、分子生物学的なアプローチだけでなく、物理・化学的なアプローチが必須と考えられる。長期的な影響についての研究が重要である。また、電磁気を利用した検査・治療の有効性は、様々な診療領域で確かめられている。特に、神経内科領域で扱う脳変性疾患や、また精神科領域で扱ううつ病などについて有効性の知見が集まってきている。特に薬剤が有効でない難治性の疾患の治療について、今後の安全性の検討とともに治療についてさらなる研究が重要と考えられる。

A 研究目的

電磁波暴露の生体への影響について、多くの報告や議論がなされている。生物は地磁気的环境下で進化してきており、生体内では電磁気の役割は大きいと考えられる。脳機能の基礎には、神経細胞の電気的な活動がある。神経を流れるパルス状の活動電位やシナプスから細胞内に流れるシナプス電流が、情報伝達的手段として用いられており、電気信号は生体に必須となっている。脳波は、神経の活動電流がつくる電位分布を経時的に示したものである。また、活動電位は頭皮表面に弱い磁場をつくっており、その微小な磁気信号をとらえて画像化する脳磁図 (Magneto Encephalogram) がある。医療現場においては、MRI (Magnetic Resonance Imaging) などが画像診断に用いられているだけでなく、磁気治療の有効性も検討されている。反復経頭蓋磁気刺激

(repetitive transcranial magnetic stimulation: rTMS) が開発されており、神経変性疾患や精神疾患への臨床応用がなされ有効性が確かめられつつある。rTMS は、頭蓋上においた高電流高電圧パルスを流すことで磁束が生じ渦電流を起し神経細胞を興奮させることに特徴がある。以上のことから、電磁気は生体に必須なものとなっていることがわかる。一方、技術革新とともに生活環境に多くの電磁気を利用した設備や機器が登場している。生体に影響を及ぼす可能性は強く、電磁場の健康リスクについて多くの検討がなされている。電磁波の生体影響について、細胞・分子レベルでのメカニズムは十分には解明されていない。

本研究班では協力して主に実験的なアプローチ行うとしているが、ここでは、主に脳神経系に関してさらに研究を発展させる

ため、細胞・分子レベルで検討されている研究に関して文献的検討をおこない今後の研究の方向性について考察した。

B. 研究方法

電磁界の生体への影響に関し文献調査をおこなった。NCBI (National Center for Biotechnology Information) が一般公開している医学関係文献データベース PubMed から下記の趣旨で検索し論文を抽出した。

1. 文献調査をおこなう対象となる論文の発表年について

「平成 17 年度の WHO 及び諸外国の電磁界の健康影響に関する動向についての報告」の第二部で、「電磁界の健康影響に係る最近の文献調査 (2005)」において、主に商用周波数を中心とする電磁界について 2005 年までの報告がまとめられており、本文献研究は 2006 年から現在 (2009 年 3 月) までとした。

2. まず PubMed から分子生物学的な実験的アプローチをした論文を検索するために、「electromagnetic」and 「DNA or gene」で検索を行った。その結果、136 の論文が該当した。その中から、特に脳神経系に関する知見のある論文を以下のキーワードで抽出した。

- 1) 脳神経系の重要な部位である大脳皮質と海馬に注目して、「neuron and cortex」or 「hippocampus」をキーワードとした。抽出された 55 論文の中から、分子生物学手法を用いて実験的アプローチ

をおこなった 21 論文を検討した (表 1)。

- 2) 実験的な研究対象とする組織試料として、幹細胞に注目して「stem cell」をキーワードとした。抽出された 47 論文の中から、分子生物学手法を用いて実験的アプローチをおこなった 14 論文を検討した (表 2)

- 3) 電磁界の生体影響を起こすメカニズムについて考察した論文のうち、特に分子生物学的な検討および物理化学的な検討をされている論文を抽出してまとめた。

C. 結果および考察

1) 脳神経系の重要な部位である大脳皮質と海馬に注目して抽出した論文について:

高周波電磁界の暴露の影響について 9 編の報告がある。Bas O らは (1)、ラットの海馬 pyramidal cell を用いて、組織病理学的手法で細胞数の減少 ($P < 0.05$) が認められたと報告している。Odaci E らも (2)、ラットの海馬歯状回 granule cell を用いて、光学的な手法で細胞数の減少 ($P < 0.01$) が認められたと報告している。Ammari M らは (3)、ラット prefrontal and frontal cortex での cytochrome coxidase 活性を組織化学的に検討して、SAR (brain-averaged specific absorption rate) が 6w/Kg で活性減少、1w/Kg で変化なしであったとし

ている。Brillaud Eらは(8)、ラット脳で、グリアの変化をみるGFAP expressionを調べ、有意な増加があったとしている。Platano Dらは(12)、ラット脳皮質の神経細胞の primary culture を用いて、patch-clamp の手法で調べ、有意な結果は認めなかった。Joubert Vらは(14)、ラット脳皮質の神経細胞の primary culture を用いて、DAPI stainin, TUNEL, caspase-3 activity の手法でおこなった実験で apoptosis は認めなかったと報告している。Ferreira ARらは(16)、800-1800 MHz の電磁界で、ラット frontal cortex, hippocampus において、malondialdehyde・carbonyl assay で脂質、蛋白質への影響は認めなかった。Inomata-Terada Sらは(13)、PHF-EMF の電磁界で、ヒトの motor cortex において、TMS によって誘発される MEPs (motor evoked potentials) を調べ、有意な所見はなかったとしている。Aalto Sらは(20)、実際に携帯電話の使用後に脳血流を調べ影響があったとしている。Ahmed Zらは(4)、PMF (pulsed magnetic field) 0.16Hz, 15mT で、ラット hippocampal において、evoked potential による測定で有意な影響があったとしている。St-Pierre LSらは(5)、ラット hippocampus で cytomorphology により有意な影響があったとしている。St-Pierre LSらも(5)、ラット hippocampus において細胞形態的にみて有意な影響があった

としている。Wang Xらは(6)、超低周波電磁場でラット hippocampus における dopamine D2 receptor density を調べ有意な影響があるとしている。Jadidi Mらは(7)、50 Hz 8 mT で、ラット海馬機能について、water maze task を用いて行動から空間記憶をしらべ損なわれると報告している。Deans JKらは(9)、DC 電界で、ラット海馬 pyramidal cell を用いて transmembrane potentials を調べ、neuronal networks への影響を指摘している。Li MQらは(10)、65 mW/cm² の電磁波で、ラット海馬機能について、Morris water maze を用いて調べ学習・記憶力の低下が起こるとしている。さらに RT-PCR で、glucocorticoid 受容体の mRNA を調べ関与がある可能性を示している。Manikonda PKらは(11)、超低周波電磁界で、ラット海馬の intracellular Ca²⁺ のレベルをみて、NMDA Receptor への影響の可能性を示している。Goto Yらは(17)、100mT の被爆で、マウス CA3 pyramidal cell と granular cell について Ntan1 mRNA が増加しており、運動量の低下があるとしている。Hirai Tらは(18)、ラット海馬で Northern blot analysis を行い Ntan1 mRNA 増加しているとしている。また MAP2 蛋白質分解にも言及している。Jelenković Aらは(19)、50 Hz, 0.5 mT で、ラット basal forebrain and frontal cortex における Superoxide dismutase 活性を調べ、lipid peroxidation による傷害性を示している。Prina-Mello Aらは(21)、MRI

5.0Tの影響について検討しており、ラット大脳皮質において activity of c-Jun N-terminal kinase の活性が増加しているとしている。Vargas JP らは(15)、地磁気の影響をハトの海馬の電気信号を調べて、海馬で地磁気を感じている可能性を示している。

2) 研究試料として幹細胞に注目して抽出した論文について:

Ahuja YR らは(31)、薬物や電磁界などの環境要因についての遺伝毒性の評価に用いる細胞として万能性のある stem cell が適していると述べている。電磁界の Stem cell への影響をみた論文は9例ある。そのうち影響が認められたとする報告は7論文、影響がなかったとする報告が2論文ある。

Gaetani R らは(23)、ELF-EMF の電磁界によって、human cardiac stem cell (CSC) が、cardiac-specific な分化へ働くことを Ca(2+) ion cyclotron energy resonance を用いて示している。

mesenchymal stem cell についての報告は以下の5例がある。Sun LY らは(24)、pulsed EMF によって、ヒト bone marrow mesenchymal stem cell が増殖を強めることを示している。Schwartz Z らは(25)、pulsed EMF で、ヒト mesenchymal stem cell を用いて、Osteoprotegerin が減少するとしている。Schwartz Z らは(26)、また別の論文で同様にして、BMP-2 の osteogenic 効果が増強するとしている。Walther M らは(28)、LF-EMF (BEMER type) の電磁界で、human mesenchymal

stem cell を用いて、遺伝子発現を調べているが、癌関連遺伝子については影響が認められなかったとしている。Park SH らは(29)、ウサギ bone marrow-derived mesenchymal stem cell について、免疫組織化学手法や遺伝子発現を調べて分化誘導に有用としている。

neuronal cell については、Rao VS らは(27)、800MHz の電磁界で、マウス stem cell-derived neuronal cell を用いて、Ca(2+) spikes の数を調べ増加することを示している。Schwenzer NF らは(31)、MRI 3T の影響を調べるために、ヒト lung fibroblast を用いて、environmental mutagenesis や drug development を調べて影響がなかったとしている。Panagopoulos DJ らは(32)、900MHz, 1800MHz の電磁界で、ショウジョウバエの follicle cell, cell, oocyte を用いて、TUNEL assay を行い、cell death を起こすとしている。

3) 電磁界の生体影響を起こすメカニズムについて考察した論文について

DNA への損傷を与えるとすれば、電磁界のエネルギーレベルは、直接 DNA 鎖の切断などを起こすのに十分ではないと考えられているため、何らかのメカニズムが存在する可能性がある。電磁界の電子への影響を通して核酸の機能に影響を与えるようになるメカニズムが考えられている。

Ruediger HW らは(33)、電磁界 RF-EMF による遺伝毒性 genotoxicity について報告された論文 101 編を

review して、genotoxic 作用があると
した論文が 49 編、なかったとした論文
が 42 編、判定が難しい論文が 8 編であ
った。RF-EMF による genotoxicity に
ついてのメカニズムについて、Thermal
Effects, Oxygen radicals,
DNA-repair processes に分けて述べ
ている。Phillips JL らは (34)、DNA
damage の検証法として comet assay の
有用性を示し、DNA 鎖の切断や構造変
化について考察している。Blank M. ら
は (35, 41, 43) 電磁界のエネルギーレ
ベルは、直接 DNA 鎖の切断などを起こ
すのに十分ではないと考えられている
ため、DNA に与えるメカニズムについ
て考察している。彼は、弱い電磁界で
も電荷に影響をおよぼし、それが大き
な水和エネルギーによって起こる構造変
化のトリガーとなりうることを物理化
学的な知見も踏まえて考察している。
Simkó M. らは (36)、RF-EMF による酸化
剤 oxidant について考察している。ま
た、同じ刺激でもターゲットとなる細
胞の種類によって異なる反応となる可
能性に言及している。また、Simkó M.
らは (37, 42)、別の論文で、DNA 内の
電子に注目して、RF-EMF が電子の移動
を強めることを示し転写の開始への影
響を起こす可能性を考察している。

Microarray を用いた網羅的な DNA 研
究として以下のものがある。Schwenzer
NF らは (38)、強磁場である MRI の生体
影響評価のため、3.0 Tesla で、
embryonic human lung fibroblasts
(Hel 299) に対し cDNA microarray を
用いて 498 の既知の遺伝子について遺

伝子発現の変化をみた。その結果有意
な変化は認めなかった。Qutob SS らは
(39)、1.9 GHz パルス電磁界によるグ
リオーマ細胞の遺伝子発現をマイクロ
アレーでみている。その結果、有意な
結果は認めなかった。Wang LL らは
(40)、1800 MHz の電磁界が、Genechip
を用いて、MCF-7 細胞の遺伝子発現の
変化を引き起こすかどうかをみている。
その結果、有意な変化は認められな
かった。

D 結論

脳部位、対象とする細胞、影響を起
こすメカニズムに分けて文献研究をお
こなった。今後、理論的に機序を考察す
ることによって実験的な研究を進めるあたり
参考となると考えられる。こうした研究
には、分子生物学的なアプローチだけで
なく、物理・化学的なアプローチが必須
と考えられる。長期的な影響についての
研究が重要である。また、電磁気を利用
した検査・治療の有効性は、様々な診療
領域で確かめられている。特に、神経内
科領域で扱う脳変性疾患や、また精神科
領域で扱ううつ病などについて有効性
の知見が集まってきている。特に薬剤が
有効でない難治性の疾患の治療につい
て、今後の安全性の検討とともに治療に
ついてさらなる研究が重要と考えられ
る。

文献調査2-表1 電磁場の影響について、研究対象として脳神経、海馬部位を用いた研究(2006-2009)

著者	発表 電磁場	サンプルに用いた脳部位	研究方法	結果
Bas O (1)	2009 900MHz	rat hippocampal pyramidal cell	histopathological	細胞数の減少 (P<0.05)
Odaci E (2)	2008 900MHz	rat granule cells dentate gyrus	optical fractionator technique	細胞数の減少 (P<0.01)
Ammari M (3)	2008 900MHz	rat prefrontal and frontal cortex	histochemical (cytochrome c oxidase activity)	活性減少 (6w/Kg) 変化なし(1w/Kg)
Ahmed Z (4)	2008 PMF(0.16 Hz)	rat hippocampus	evoked potential	有意な影響
St-Pierre LS (5)	2008 repetitive MF	rat hippocampus	cytomorphology	有意な影響
Wang X (6)	2008 LF-ELF	rat dorsal hippocampus	dopamine D2 receptor density	有意な影響
Jadidi M (7)	2007 50 Hz 8 mT	rat hippocampus	spatial memory (water maze task 損なう)	
Brillaud E (8)	2007 900MHz	rat brain	GFAP expression (glial)	有意な増加
Deans JK (9)	2007 DC electric fields	rat pyramidal cell hippocampus	transmembrane potentials	neuronal networksに影響
Li MG (10)	2007 65 mW/cm(2)	rat hippocampus	Morris water maze, RT-PCR	学習・記憶力低下
Manikonda PK (11)	2007 ELF	rat hippocampus	intracellular Ca(2+) level	NMDA Rceptorへの影響
Platano D (12)	2007 900MHz	rat primary culture of cortical neuron	patch-clamp technique	影響認めず
Inomata-T S (13)	2007 PHF-EMF	human motor cortex	motor evoked potential	異常を認めず
Joubert V (14)	2007 900MHz	rat primary culture of cortical neuron	DAPI stainin, TUNEL ,caspase-3 activity	apoptosisを認めず

文献調査2-表1(続き) 電磁場の影響について、研究対象として脳神経、海馬部位を用いた研究(2006-2009) 続き

著者	発表	電磁場	サンプルに用いた脳部位	研究方法	結果
Vargas JP (15)	2006	earth's magnetic field	pigeon hippocampus	single-unit activity	海馬で地磁気を感じ
Ferreira AR (16)	2006	800-1800 MHz	rat frontal cortex, hippocampus	malondialdehyde-carbonyl assay	脂質, 蛋白質での影響認めず
Goto Y (17)	2006	100mT	mouse CA3 pyramidal cell and granular cell	Ntan1 mRNA	Ntan1 mRNA増加, 運動量減少
Hirai T (18)	2006	static	rat hippocampus	Northern blot analysis	Ntan1 mRNA増加・MAP2蛋白質分解
Jelenković A (19)	2006	50 Hz, 0.5 mT	rat basal forebrain and frontal cortex	Superoxide dismutase activities	lipid peroxidationのため傷害性
Aalto S (20)	2006	EMF	human (mobile phone in use)	cerebral blood flow (PET)	影響あり
Prina-Mello A (21)	2006	MRI 5.0T	rat cortex	activity of c-Jun N-terminal kinase	活性の増加

EMF: electromagnetic field

PMF: pulsed magnetic field

ELF: extremely low-frequency