

- Bioelectromagnetics, 2010. **31**(8): p. 603-12.
19. Rodriguez de la Fuente, A.O., et al., *Effect of 60 Hz electromagnetic fields on the activity of hsp70 promoter: an in vitro study*. Cell Biol Int, 2009. **33**(3): p. 419-23.
 20. Iorio, R., et al., *Involvement of mitochondrial activity in mediating ELF-EMF stimulatory effect on human sperm motility*. Bioelectromagnetics, 2011. **32**(1): p. 15-27.
 21. Morabito, C., et al., *Modulation of redox status and calcium handling by extremely low frequency electromagnetic fields in C2C12 muscle cells: A real-time, single-cell approach*. Free Radic Biol Med, 2010. **48**(4): p. 579-589.
 22. Markkanen, A., J. Naarala, and J. Juutilainen, *A Study on the effects of 50 Hz magnetic fields on UV-induced radical reactions in murine fibroblasts*. J Radiat Res (Tokyo), 2010. **51**(5): p. 609-13.
 23. Ravera, S., et al., *Sinusoidal ELF magnetic fields affect acetylcholinesterase activity in cerebellum synaptosomal membranes*. Bioelectromagnetics, 2010. **31**(4): p. 270-6.
 24. Mannerling, A.C., et al., *Effects of 50-Hz magnetic field exposure on superoxide radical anion formation and HSP70 induction in human K562 cells*. Radiation and environmental biophysics, 2010. **49**(4): p. 731-41.
 25. Di Campli, E., et al., *Effects of Extremely Low-Frequency Electromagnetic Fields on Helicobacter pylori Biofilm*. Curr Microbiol, 2009. **60**(6).
 26. Magazu, S., E. Calabro, and S. Campo, *FTIR Spectroscopy Studies on the Bioprotective Effectiveness of Trehalose on Human Hemoglobin Aqueous Solutions under 50 Hz Electromagnetic Field Exposure*. J Phys Chem B, 2010. **114**(37): p. 12144-9.
 27. Szemerszky, R., et al., *Polluted places or polluted minds? An experimental sham-exposure study on background psychological factors of symptom formation in 'Idiopathic Environmental Intolerance attributed to electromagnetic fields'*. Int J Hyg Environ Health, 2010. **213**(5): p. 387-94.
 28. McNamee, D.A., et al., *The cardiovascular response to an acute 1800- μ T, 60-Hz magnetic field exposure in humans*. Int Arch Occup Environ Health, 2009. **83**(4): p. 441-54.
 29. McNamee, D.A., et al., *The response of the human circulatory system to an acute 200- μ T, 60-Hz magnetic field exposure*. Int Arch Occup Environ Health, 2010. **84**(3): p. 267-77.
 30. Auger, N., et al., *The relationship between residential proximity to extremely low frequency power transmission lines and adverse birth outcomes*. J Epidemiol Community Health, 2010. **65**(1): p. 83-5.
 31. Kheifets, L., et al., *Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukaemia*. Br J Cancer, 2010. **103**(7): p. 1128-35.
 32. Kheifets, L., et al., *A pooled analysis of extremely low-frequency magnetic fields and childhood brain tumors*. Am J Epidemiol, 2010. **172**(7): p. 752-61.
 33. Chen, C., et al., *Extremely low-frequency electromagnetic fields exposure and female breast cancer risk: a meta-analysis based on 24,338 cases and 60,628 controls*. Breast Cancer Res Treat, 2010. **123**(2): p. 569-76.
 34. Hug, K., et al., *Parental occupational exposure to extremely low frequency magnetic fields and childhood cancer: a German case-control study*. Am J Epidemiol, 2010. **171**(1): p. 27-35.
 35. Behrens, T., et al., *Occupational exposure to electromagnetic fields and sex-differential risk of uveal melanoma*. Occup Environ Med, 2010. **67**(11): p. 751-9.
 36. Andel, R., et al., *Work-Related Exposure to*

- Extremely Low-Frequency Magnetic Fields and Dementia: Results from the Population-Based Study of Dementia in Swedish Twins.* J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2010. **65**(11): p. 1220-7.
37. Tillmann, T., et al., *Indication of cocarcinogenic potential of chronic UMTS-modulated radiofrequency exposure in an ethylnitrosourea mouse model.* Int J Radiat Biol, 2010. **86**(7): p. 529-41.
38. Sommer, A.M., et al., *Effects of radiofrequency electromagnetic fields (UMTS) on reproduction and development of mice: a multi-generation study.* Radiat Res, 2009. **171**(1): p. 89-95.
39. Chavdoula, E.D., D.J. Panagopoulos, and L.H. Margaritis, *Comparison of biological effects between continuous and intermittent exposure to GSM-900-MHz mobile phone radiation: detection of apoptotic cell-death features.* Mutat Res, 2010. **700**(1-2): p. 51-61.
40. Watilliaux, A., et al., *Effect of Exposure to 1,800 MHz Electromagnetic Fields on Heat Shock Proteins and Glial Cells in the Brain of Developing Rats.* Neurotox Res, 2010.
41. Ammari, M., et al., *GFAP expression in the rat brain following sub-chronic exposure to a 900 MHz electromagnetic field signal.* Int J Radiat Biol, 2010. **86**(5): p. 367-75.
42. Imge, E.B., et al., *Effects of mobile phone use on brain tissue from the rat and a possible protective role of vitamin C - a preliminary study.* Int J Radiat Biol, 2010. **86**(12): p. 1044-9.
43. Maskey, D., et al., *Effect of 835 MHz radiofrequency radiation exposure on calcium binding proteins in the hippocampus of the mouse brain.* Brain Res, 2010. **1313**: p. 232-41.
44. Maskey, D., et al., *Chronic 835-MHz radiofrequency exposure to mice hippocampus alters the distribution of calbindin and GFAP immunoreactivity.* Brain Res, 2010. **1346**: p. 237-46.
45. Sonmez, O.F., et al., *Purkinje cell number decreases in the adult female rat cerebellum following exposure to 900 Mhz electromagnetic field.* Brain Res, 2010. **1356**: p. 95-101.
46. Ragbetli, M.C., et al., *The effect of mobile phone on the number of Purkinje cells: a stereological study.* Int J Radiat Biol, 2010. **86**(7): p. 548-54.
47. Vorobyov, V., et al., *Repeated exposure to low-level extremely low frequency-modulated microwaves affects cortex-hypothalamus interplay in freely moving rats: EEG study.* Int J Radiat Biol, 2010. **86**(5): p. 376-83.
48. Finnie, J.W., et al., *Microglial activation as a measure of stress in mouse brains exposed acutely (60 minutes) and long-term (2 years) to mobile telephone radiofrequency fields.* Pathology, 2010. **42**(2): p. 151-4.
49. Takahashi, S., et al., *Lack of adverse effects of whole-body exposure to a mobile telecommunication electromagnetic field on the rat fetus.* Radiation research, 2010. **173**(3): p. 362-72.
50. Bartsch, H., 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 Endocrinol Lett, 2010. **31**(4): p. 457-73.
51. Esmekaya, M.A., N. Seyhan, and S. Omeroglu, *Pulse modulated 900 MHz radiation induces hypothyroidism and apoptosis in thyroid cells: A light, electron microscopy and immunohistochemical study.* Int J Radiat Biol, 2010. **86**(12): p. 1106-16.
52. Ozgur, E., G. Guler, and N. Seyhan, *Mobile phone radiation-induced free radical damage in the liver is inhibited by the antioxidants n-acetyl cysteine and epigallocatechin-gallate.* Int J Radiat Biol, 2010. **86**(11): p. 935-45.

53. Tomruk, A., G. Guler, and A.S. Dincel, *The Influence of 1800 MHz GSM-like Signals on Hepatic Oxidative DNA and Lipid Damage in Nonpregnant, Pregnant, and Newly born Rabbits*. Cell Biochem Biophys, 2009. **56**(1): p. 39-47.
54. Lee, H.J., et al., *Lack of teratogenicity after combined exposure of pregnant mice to CDMA and WCDMA radiofrequency electromagnetic fields*. Radiat Res, 2009. **172**(5): p. 648-52.
55. Yamashita, H., et al., *Short-term exposure to a 1439-MHz TDMA signal exerts no estrogenic effect in rats*. Bioelectromagnetics, 2010. **31**(7): p. 573-5.
56. Salama, N., et al., *Effects of exposure to a mobile phone on sexual behavior in adult male rabbit: an observational study*. Int J Impot Res, 2009. **22**(2): p. 127-33.
57. Belyaev, I., E. Markova, and L. Malmgren, *Microwaves from Mobile Phones Inhibit 53BP1 Focus Formation in Human Stem Cells Stronger than in Differentiated Cells: Possible Mechanistic Link to Cancer Risk*. Environ Health Perspect, 2010. **118**(3): p. 394-399.
58. Franzellitti, S., et al., *Transient DNA damage induced by high frequency electromagnetic fields (GSM 1.8GHz) in the human trophoblast HTR-8/SVneo cell line evaluated with the alkaline Comet assay*. Mutat Res, 2010. **683**(1-2): p. 35-42.
59. Zhijian, C., et al., *Impact of 1.8-GHz radiofrequency radiation (RFR) on DNA damage and repair induced by doxorubicin in human B-cell lymphoblastoid cells*. Mutat Res, 2009. **695**(1-2): p. 16-21.
60. Bourthoumieu, S., et al., *Cytogenetic Studies in Human Cells Exposed In Vitro to GSM-900 MHz Radiofrequency Radiation Using R-Banded Karyotyping*. Radiat Res, 2010. **174**(6): p. 712-8.
61. Hintzsche, H. and H. Stopper, *Micronucleus frequency in buccal mucosa cells of mobile phone users*. Toxicol Lett, 2009. **193**(1): p. 124-30.
62. Luukkonen, J., J. Juutilainen, and J. Naarala, *Combined effects of 872 MHz radiofrequency radiation and ferrous chloride on reactive oxygen species production and DNA damage in human SH-SY5Y neuroblastoma cells*. Bioelectromagnetics, 2010. **31**(6): p. 417-24.
63. Gerner, C., et al., *Increased protein synthesis by cells exposed to a 1,800-MHz radio-frequency mobile phone electromagnetic field, detected by proteome profiling*. Int Arch Occup Environ Health, 2010. **83**(6): p. 691-702.
64. Hirose, H., et al., *1950 MHz IMT-2000 field does not activate microglial cells in vitro*. Bioelectromagnetics, 2009.
65. Lee, K.Y., et al., *Effects of combined radiofrequency radiation exposure on the cell cycle and its regulatory proteins*. Bioelectromagnetics, 2010.
66. Nylund, R., N. Kuster, and D. Leszczynski, *Analysis of proteome response to the mobile phone radiation in two types of human primary endothelial cells*. Proteome Sci, 2010. **8**: p. 52.
67. Sekijima, M., et al., *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): p. 277-84.
68. Falzone, N., et al., *Mobile phone radiation does not induce pro-apoptosis effects in human spermatozoa*. Radiat Res, 2010. **174**(2): p. 169-76.
69. Xu, S., et al., *Exposure to 1800 MHz radiofrequency radiation induces oxidative damage to mitochondrial DNA in primary cultured neurons*. Brain Res, 2009. **1311**: p. 189-96.
70. Kowalczyk, C., et al., *Absence of nonlinear responses in cells and tissues exposed to RF energy at mobile phone frequencies using a doubly resonant cavity*. Bioelectromagnetics, 2010. **31**(7): p. 556-65.

71. O'Connor, R.P., et al., *Exposure to GSM RF fields does not affect calcium homeostasis in human endothelial cells, rat pheochromocytoma cells or rat hippocampal neurons*. PLoS One, 2010. 5(7): p. e11828.
72. Bak, M., et al., *Effects of GSM signals during exposure to event related potentials (ERPs)*. Int J Occup Med Environ Health, 2010. 23(2): p. 191-9.
73. Croft, R.J., et al., *Effects of 2G and 3G mobile phones on human alpha rhythms: Resting EEG in adolescents, young adults, and the elderly*. Bioelectromagnetics, 2010. 31(6): p. 434-44.
74. Lowden, A., et al., *Sleep after mobile phone exposure in subjects with mobile phone-related symptoms*. Bioelectromagnetics, 2010. 32(1): p. 4-14.
75. Vecchio, F., et al., *Mobile phone emission modulates inter-hemispheric functional coupling of EEG alpha rhythms in elderly compared to young subjects*. Clin Neurophysiol, 2010. 121(2): p. 163-171.
76. Maganioti, A.E., et al., *Principal component analysis of the P600 waveform: RF and gender effects*. Neurosci Lett, 2010. 478(1): p. 19-23.
77. Mizuno, Y., et al., *Effects of W-CDMA 1950 MHz EMF emitted by mobile phones on regional cerebral blood flow in humans*. Bioelectromagnetics, 2009. 30(7): p. 536-44.
78. Kwon, M.S., et al., *No effects of mobile phone electromagnetic field on auditory brainstem response*. Bioelectromagnetics, 2009. 31(1): p. 48-55.
79. Parazzini, M., et al., *Absence of short-term effects of UMTS exposure on the human auditory system*. Radiat Res, 2010. 173(1): p. 91-7.
80. Parazzini, M., et al., *Effects of UMTS Cellular Phones on Human Hearing: Results of the European Project "EMFnEAR"*. Radiat Res, 2009. 172(2): p. 244-51.
81. Okano, T., et al., *The effect of electromagnetic field emitted by a mobile phone on the inhibitory control of saccades*. Clin Neurophysiol, 2010. 121(4): p. 603-11.
82. Sauter, C., et al., *Effects of exposure to electromagnetic fields emitted by GSM 900 and WCDMA mobile phones on cognitive function in young male subjects*. Bioelectromagnetics, 2010.
83. Wallace, D., et al., *Do TETRA (Airwave) Base Station Signals Have a Short-Term Impact on Health and Well-Being? A Randomized Double-Blind Provocation Study*. Environ Health Perspect, 2010. 118(6): p. 735-41.
84. Riddervold, I.S., et al., *No effect of TETRA hand portable transmission signals on human cognitive function and symptoms*. Bioelectromagnetics, 2010. 31(5): p. 380-90.
85. Nam, K.C., et al., *Hypersensitivity to RF fields emitted from CDMA cellular phones: A provocation study*. Bioelectromagnetics, 2009.
86. Thomas, S., et al., *Exposure to radio-frequency electromagnetic fields and behavioural problems in Bavarian children and adolescents*. Eur J Epidemiol, 2010. 25(2): p. 135-41.
87. Abramson, M.J., et al., *Mobile telephone use is associated with changes in cognitive function in young adolescents*. Bioelectromagnetics, 2009. 30(8): p. 678-86.
88. Heinrich, S., et al., *Association between exposure to radiofrequency electromagnetic fields assessed by dosimetry and acute symptoms in children and adolescents: a population based cross-sectional study*. Environ Health, 2010. 9: p. 75.
89. Heinrich, S., et al., *The impact of exposure to radio frequency electromagnetic fields on chronic well-being in young people - A cross-sectional study based on personal dosimetry*. Environ Int, 2010. 37(1): p. 26-30.

90. Thomas, S., et al., *Use of mobile phones and changes in cognitive function in adolescents*. Occupational and environmental medicine, 2010. **67**(12): p. 861-6.
91. Milde-Busch, A., et al., *The association between use of electronic media and prevalence of headache in adolescents: results from a population-based cross-sectional study*. BMC Neurol, 2010. **10**(1): p. 12.
92. Mohler, E., et al., *Effects of everyday radiofrequency electromagnetic-field exposure on sleep quality: a cross-sectional study*. Radiat Res, 2010. **174**(3): p. 347-56.
93. Berg-Beckhoff, G., et al., *Mobile phone base stations and adverse health effects: phase 2 of a cross-sectional study with measured radio frequency electromagnetic fields*. Occup Environ Med, 2009. **66**(2): p. 124-30.
94. Hartikka, H., et al., *Mobile phone use and location of glioma: a case-case analysis*. Bioelectromagnetics, 2009. **30**(3): p. 176-82.
95. *Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study*. Int J Epidemiol, 2010. **39**(3): p. 675-94.
96. Elliott, P., et al., *Mobile phone base stations and early childhood cancers: case-control study*. BMJ, 2010. **340**: p. c3077.
97. Divan, H.A., et al., *Cell phone use and behavioural problems in young children*. J Epidemiol Community Health, 2010.

付録1 低周波を対象とした論文一覧

著者	研究機関・国	研究分類	指標	材料	ばく露条件・調査条件など	結果の要旨(論文筆者による結論)
Szemerszky [2]	Eotvos Lorand University, Budapest, ハンガリー	動物	不安・鬱関連行動	ラットSD	(条件1) 50Hz, 1日8時間, 5日間, 磁束密度 0.5 mT, (条件2) 50Hz, 1日24時間, 6週間, 磁束密度 0.5mT	条件のばく露においては影響を認めなかったが、長期ばく露においては、血中グルコースレベルの上昇、脳下垂体前葉のプロオピオメラノコリン遺伝子の転写を増強させ、鬱に似た行動を記録した。
Sun [3]	Chinese Academy of Sciences, 中国	細胞	記憶	鶏卵	50Hz, 胚12~18日目まで, 1日60分, 2mT	受動回遊テストにおいて、一部の条件において、ばく露の影響が見られた。
Gulturk [4]	Cumhuriyet University School of Medicine, トルコ	動物	血液脳関門の透過性	ラットWistar (雄常ラットと薬利誘発糖尿病ラットを使用)	50Hz, 5mT で, 30分 on 15分 offを1日165分, 30日間繰り返す	シヤムばく露以外では、すべて、エバンズブルーの血管外漏出がシヤムよりも多く認められた。糖尿病と磁界は相乗的に血管透過性を亢進させたが、インシュリン投与によりグルコースレベルの改善は、磁界による体重減少と血糖低下作用を改善する可能性もある。これらについては医療応用の可能性も考えられる。
Martinez-Samano [5]	Universidad Nacional Autonoma de Mexico, メキシコ	動物	酸化ストレス	ラットWistar	60Hz, 磁束密度 2.4mTで2時間	全身ばく露のあと、血清、肝臓、腎臓、心臓における各種指標を測定した。24匹のラットを拘束群と非拘束群にわけ、それぞれ半数ずつをばく露した。心臓のグルタタチオン濃度はばく露によって減少した。血清のスーパーオキシドジスムターゼ活性は、ばく露によって低下した。それ以外の項目は影響がなかった。全体を考えると、電磁界ばく露による影響よりも拘束による影響の方が大きいと考えられた。
Rajkovic [6]	University of Novi Sad, Novi Sad, セルビア	動物	肥満細胞の反応	ラットWistar	50Hz, 1日4時間で30日間, 出生後23日目~53日まで, 磁束密度: 最大300μT	内分泌かく乱物質のアトランジンと電磁界の複合影響を検討した。アトランジン単独、またはアトランジン+電磁界の群において、脂肪細胞の脱顆粒の増加がみられた。(電磁界単独ではみられない)。この研究の限りにおいては、アトランジンと電磁界の相乗効果はみられなかった。
Reyes-Guerrero [7]	Universidad Nacional Autonoma de Federal Rural University of Pernambuco, ブラジル	動物	真球エストロゲン受容体α及びβの遺伝子	ラットWistar	60Hz, 1日2時間で9日間連続ばく露, 磁束密度は1mT	ELFばく露は雌の成体ラットの乳腺でのエストロゲン受容体βの遺伝子発現を変化させるが、その変化は雄では起こらない。
Tenorio [8]	University of Pernambuco, ブラジル	動物	精子発生への影響	ラットWistar	60Hz, 1日30分を、妊娠13日目~21日目までばく露, 磁束密度: 1mT	輸精管の直径、面積、精細管の上皮の高さ、総体積、尿管内面等が減少し、結合組織細胞や、血管容積が増加した。これらより、磁界はばく露は精子の発生に影響を及ぼしていると考えられる。
Bernabo [9]	University of Teramo, イタリア	動物	発生胚および精子の受精能など	豚	in vitro実験: 50Hz, 1時間, 最大2mT in vivo実験: 50Hz, 1時間, 最大2mT	in vitroの実験では、精子先体に対しての進行性のダメージが磁束密度に依存して増加し、1mTのばく露でプラトーになった。一方、精子DNAIに対しては影響を与えなかった。また、in vivoの実験では、受精能が1mT以上で低下した。
Rajkovic [10]	University of Novi Sad, Novi Sad, セルビア	動物	甲状腺(形態学的、機能的)	ラットWistar	50Hz, 1日4時間で30日間, 磁束密度: 最大300μT	内分泌かく乱物質のアトランジンと電磁界の複合影響を検討した。処置群と対照群との間に甲状腺の形態的な変化はみられない。甲状腺濾胞と結合組織の体積密度についてはアトランジン単独、磁界単独で差が認められたが、両ばく露群における相乗効果はみられなかった。
Ulku [11]	Medical School of Dicle University, Diyarbakir, トルコ	動物	筋骨のカルシウム、亜鉛、マグネシウム濃度	ラットSD	50Hz, 2時間/日、週7日、10ヶ月のばく露, 100μT群と500μT群	カルシウムレベルは500μT群で減少し、亜鉛、マグネシウムは500μT群、100μT群で減少した。
Akdag [12]	Medical School of Dicle University, トルコ	動物	ラット脳のカルバセゼ活性と酸化ストレス	ラットSD	50Hz, 2時間/日、週7日、10ヶ月のばく露, 100μT群と500μT群	抗酸化活性は、500μT群で低下した。これらより、ばく露により、酸化ストレスの増大が起る可能性が指摘できる。

付録1 低周波を対象とした論文一覧

著者	研究機関・国	研究分類	指標	材料	ばく露条件・調査条件など	結果の要旨(論文筆者による結論)
Maniucci [13]	University of Perugia, イタリア	動物	DNA損傷とHspタンパク質発現	マウス CD-1	50Hz, 1日15時間を1日間または7日間、磁束密度は1mT	電磁界ばく露によって対照群に比較して、マウス大脳神経においてDNA損傷が増加した。しかし、7日間ばく露後さらに24時間たった個体ではその損傷は回復した。一方、Hspタンパク質の発現には影響を与えなかったため、ストレス反応は生じない。
Focke [14]	University of Basel, スイス	細胞	DNA損傷とDNA鎖切断、細胞周期	ヒトアデアカルシノーマ細胞 (HeLa細胞)、繊維芽細胞	50Hz, 5分on10分offの繰り返しで15時間、または連続で15時間、磁束密度は1mT	間歇的なばく露条件において、わずかながら有意なDNA断片化を認めた。(Vancsits2002,2003)の論文の追試
Kaszuba [15]	Jagiellonian University Medical College, Cracow, ポーランド	細胞	細胞死、アポトーシス	ヒト単球培養細胞 (U937)	50Hzのパルス波, 24時間インターバルで3時間ばく露を3回, 45mT	PEMFはピューロマイシン処理による細胞のアポトーシスおよびネクロシスの割合を低下させた。またこれらは細胞の密度とも関連している。
Kim [16]	Yonsei University, 韓国	細胞	DNA損傷・アポトーシス	ヒトアデアカルシノーマ HeLa細胞, IMR90細胞	条件1)60Hzで連続60分, 最大6mT 条件2)72Hzで連続30分, 3日間, 最大3mT, 6mT	単回のばく露(条件1)ではDNA鎖切断などの影響は与えられなかったが、繰り返しばく露(条件2)においては、細胞のバイアビリティの低下が見られ、p38MAPK依存リン酸化、カスパーゼ依存性のアポトーシスが見られた。非常に強い境界の繰り返しばく露は今後も検討が必要である。
Sun [17]	Chinese Academy of Sciences, 中国	細胞	アポトーシスと関連する遺伝子発現 絨毛性ゴナドトロピンとプロゲステロンの分泌 食作用 一酸化窒素合成酵素の発現、熱ショックタンパク質の発現	妊娠初期栄養膜 ヒト単球白血球細胞 (THP-1)	50Hz, 6~72時間, 0.2または0.4mT	0.2mT, 72時間ではゴナドトロピン、プロゲステロンへの影響はなかった。また0.4mT, 48時間でも影響はなかったが、0.4mT, 72時間ではそれぞれの分泌が抑制された。一方、栄養膜に関するアポトーシス関連遺伝子には変化が見られなかった。
Akan [18]	Marmara University, トルコ	細胞	食作用 一酸化窒素合成酵素の発現、熱ショックタンパク質の発現	ヒト単球白血球細胞 (THP-1)	50Hz, 1mTで, 4時間~6時間	バクテリアの増殖曲線はばく露により抑制された。また、細胞実験では、一酸化窒素のレベルが増加したが、誘導型一酸化窒素合成酵素のレベルは減少した。また、HSP70のレベルが増加した一方、アポトーシスが減少する傾向が見られた。
Rodriguez [19]	Universidad Autonoma de Nuevo Leon, メキシコ	細胞	熱ショックタンパク質Hsp70遺伝子の発現	ヒトアデアカルシノーマ細胞 (HeLa), マウス肝臓細胞 (BMK16)	60Hz, 20分間, 最大80μT	熱ショックタンパク質Hsp70プロモーターに組み込まれたレジンフェラーゼアッセイを行うと、ばく露によって、その活性が増加した。熱ショック処理と熱+電磁界の両ばく露を比べると、熱単独に比べて、16倍の活性があることから相乗効果が見られた。
Iorio [20]	University of L'Aquila, イタリア	細胞	精子の運動性とエネルギー代謝	ヒト精子	50Hz, 1~3時間, 5mT	電磁界ばく露により、ミトコンドリア膜電位とATP, ADP, NADのレベルが連続的に増加した。これらは精子の運動性に関連するミトコンドリアの代謝と関連しており、電磁界ばく露による精子の運動性亢進はミトコンドリアが重要な役割を担っていることが示された。
Morabito [21]	Interuniversity Institute of Myology, イタリア	細胞	カルシウムシグナリング, 活性酸素種産生, 酸化ストレス	未分化筋原細胞, 筋管細胞 (C2C12細胞)	50Hz, 30分, 1mT	筋原細胞、筋管細胞において、ミトコンドリア膜電位が減少し、活性酸素種の産生が亢進した。またカルラーゼやグルタチオン過酸化酵素の活性化が起こり、細胞内Ca濃度が増加した。
Markkanen [22]	University of Eastern Finland, Kuopio, フィンランド	細胞	活性酸素種	マウス繊維芽細胞 (L929)	50Hz, 最大300μT, ばく露時間は1時間と24時間	細胞からの活性酸素種の発生に関して、電磁界ばく露の影響は認められない。また、UVばく露による活性酸素種の発生を修飾することもなかった。

付録1 低周波を対象とした論文一覧

著者	研究機関・国	研究分類	指標	材料	ばく露条件・調査条件など	結果の要旨(論文筆者による結論)
Ravera [23]	University of Genoa, イタリア	細胞	酵素活性(アセチルコリンエステラーゼ)	シナプトソーム	酵素 50Hz, 1~5分, 2mT	50Hzのばく露で酵素活性は約27%の低下が見られた。その閾値は0.74mTであり、反応は可逆性である。Tintinで脂質を可溶化すると、その影響は消失した。このことより、膜がなんらかの影響を与えている可能性がある。
Mannerling [24]	Orebro University, Orebro, スウェーデン	細胞	ストレス反応(Hsp70発現とスパーオキシイド)	K562細胞(ヒト赤血球病細胞)	50Hz, 1時間, 磁束密度最大0.1mT	磁界ばく露では、Hsp70の発現が有意に増加したが、24時間後にはペーラインに戻る反応性を示した。また、磁束密度に依存せず、0.25mTで最も高い反応性を示した。また、スパーオキシイドについては、いずれの磁束密度でも増加した。
Di Campi [25]	University "G. d'Annunzio", イタリア	細胞	ピロリ菌のバイオフィームへの影響	細菌(ピロリ菌)	50Hz, 2日間, 1mT	ピロリ菌のバイオフィーム形成に関連する指標において、電磁界ばく露が抑制する効果を示した。
Magazu [26]	University of Messina, イタリア	分子	ヘモグロビンの構造	ヘモグロビン	50Hz, 3時間, 1mT	電磁界ばく露によって、ヘモグロビンの立体構造の変化(アマミドバンド)がみられる。トナロース溶液では保護効果のためその変化はない。
Szernerszky [27]	Eotvos Lorand University, ハンガリー	ヒト	過敏症の症状と性格検査、感知	ヒト40人	50Hz, 10分間, 磁束密度不明	ばく露での自覚症状に関して、ノージーボ効果が見られた。電磁過敏症は心理的な要因が大きいことが示された
McNamee [28]	Lawson Health Research Institute, カナダ	ヒト	心血管反応(心拍、心拍変動、皮膚血流)	ヒト(健康者58名)	60Hz, 1時間, 1800 μT	左記の条件によるばく露によって、測定した指標には影響を与えなかった。
McNamee [29]	Lawson Health Research Institute, カナダ	ヒト	心血管反応(心拍、血圧、皮膚血流)	ヒト(健康者10名)	60Hz, 1時間, 200 μT	左記の条件によるばく露によって、測定した指標には影響を与えなかった。
Auger [30]	Montreal, カナダ	疫学	出生状況(早産、低体重、性など)	断面研究	送電線からの距離による分類, 対象者707215名	送電線から400m以内に居住していた母親は17%、50m以内は1.5%であった。しかし、出生状況と送電線との距離に関して、関連性は見られなかった。
Kheifets [31]	UCLA School of Public Health, アメリカ	疫学	小児白血病	症例対照研究のブール分析	対象者: 症例10865例, 対照12583例(2000年以降に発表された7つの研究)	一部、プラジルのデータにはばく露がもっとも高いカテゴリーに属する人が多く、結果を左右したが、プラジルの研究を抜くと、オッズ比はばく露の増加によってわずかに上昇した。これまでの報告と同じ傾向を示しているといえる。
Kheifets [32]	UCLA School of Public Health, アメリカ	疫学	小児脳腫瘍	症例対照研究のブール分析	対象者: 症例8371例, 対照11494例(10この研究論文のブール分析)	小児脳腫瘍のリスクは統計的な増加はなかった。
Chen [33]	Third Military Medical University, 中国	疫学	乳がん	症例対照研究のメタ解析	対象者: 症例24338名, 対照60628名(全部で15の研究のメタ解析)	ばく露を0.2μTより小さい場合と、それ以上に分けた場合に乳がんのリスクに統計的な有意差はなかった。また、ばく露の原因(電線、毛布、職業によるばく露)や閉経期の状態、エストロゲン受容体などによる解析でも統計的に有意な差はなかった。
Hug [34]	Institute of Social and Preventive Medicine, スイス	疫学	がん	症例対照研究	親の職業上のばく露と子どもに発生するがんの関係: 対象者症例2049名, 対照2382名	母親が0.2μT以上のばく露環境で働いていたとしても、子どものリスクとの関連性は見られなかった。

付録1 低周波を対象とした論文一覧

著者	研究機関/国	研究分類	指標	材料	ばく露条件・調査条件など	結果の要旨(論文筆者による結論)
Behrens [35]	Bremen Institute for Prevention Research and Social Medicine, Bremen, ドイツ	疫学	ぶどう膜悪性黒色腫	症例対照研究	対象者症例293名、対照3198名	結果の要旨(論文筆者による結論) ぶどう膜悪性黒色腫は女性で送電線敷設作業者で増加が見られた。オッズ比は5.8 (CI1.72-19.66)。また眼珠が褐色である場合の方が、明るく色に比べリスクの増加が見られた。これらより、女性で、眼珠が褐色の場合により強いぶどう膜悪性黒色腫のリスクの増加があると考えられる。
Andel [36]	University of South Florida, アメリカ	疫学	認知症とアルツハイマー病リスク	コホート研究	対象者20206人	認知症とアルツハイマー病のリスクの関連について、電磁界との関連は見られない。ただし、早期の発症と単純労働参加者に限定すると職業性ばく露との関係が見られた。

付録2 高周波を対象とした論文一覧

著者	研究機関・国	研究分類	指標	材料	ばく露条件・調査条件など	結果の要旨(論文著者による結論)
Tillmann [37]	Fraunhofer Institute for Toxicology and Experimental Medicine, ドイツ	動物	脾臓、腎臓、肝臓、肺、リンパ節、脳のがん新生および転移	B6マウス	1986MHz、UMTS波、1日20時間、週7日、24ヶ月	結果の要旨(論文著者による結論) 生産のUMTS暴露下で子孫を2世代にわたって追跡した。がんの発生率は増加し、転移率においては、がんの発生部位数は増加し、転移率においては、ENU単独処置に比べENU+ RFではおよそ2倍に増加した。
Sommer[38]	Jacobs University Bremen ドイツ	動物	発生毒性・生殖毒性	B6マウス	1986MHz、UMTS波、1日24時間、週7日、マウスの生涯4世代、全身平均SARは最大1.3W/kg	4世代にわたって連続ばく露をして、生殖能力、発生毒性、生理指標などを調べたが、影響を認めなかった。
Chavdola [39]	アテネ大学、ギリシャ	動物	細胞の活性、細胞分裂能、DNAのフラグメント化	シヨウジョウハバエ	900MHzの様々なばく露を行う。1分ばく露10分休止、2分ばく露10分休止など、いずれも1日2~6セットを、6日間。	同様のばく露により繁殖能が低下し、卵の細胞内アクチン骨格の変化が生じる。これは、DNAの断片化と関連している。10分間以内のインターバルは、連続ばく露と同等の変化を引き起こすが、それ以上のインターバルの場合は、一部で損傷を回復するために、影響が低減された。
Watilliaux [40]	Centre de Psychiatrie et Neurosciences, フランス	動物	発達中の脳における、熟シヨククタンパク質とグリア細胞への影響	Wistarラット	1800MHz、GSM波、出生後5、15、35日目の2時間ばく露。全身平均SAR値は0.13~2.5W/kg	熟シヨククタンパク質(Hsp60、Hsp70、Hsp90)とGFAPなどの発現として観察される脳のストレス反応や、CD68、GD11の発現でみられるグリアの活性化はみられない。
Ammari [41]	National Institute of Industrial Environment and Risk, フランス	動物	アストログリアの活性化をGFAPの発現で調べる。	SDラット	900MHz/パルス波の頭部局所ばく露 ばく露条件は2通り ① 1日45分、週5日、計6週間 頭部平均 SAR 1.5W/kg ② 1日15分、週5日、計6週間 頭部平均 SAR 6W/kg	動物はばく露終了後、3日後と10日後に解剖する2群を作った。解剖日に関係なく、①②の条件ともにGFAPの発現の亢進が確認された。動物は、2ヶ月間のばく露は脳に悪影響を与えない。
Imge [42]	アンカラ大学、トルコ	動物	神経システムへの影響、特に脳の酸化ストレスとグリニン代謝	Wistarラット	900MHzの全身ばく露 10分間のばく露を1日4回、合計4週間。 全身平均SAR 0.95W/kg (筆者注:市販の携帯電話を利用して)	携帯電話のばく露はマクレオラナーゼおよびカタラーゼの酵素活性を阻害した。グルタチオンペルオキシダーゼ活性とマロンチアルデヒド濃度は有意ではないが抑制傾向。これらはビタミンC投与で抑制が回復。
Maskey [43]	韓国大学、韓国	動物	神経系への影響、特に、マウス海馬のCalbindin-Dとcalretininの発現	ICRマウス	835MHz、最大1ヶ月の全身ばく露 全身平均SAR4W/kgおよび1.6W/kg	1ヶ月の連続ばく露群において、Calbindin-Dとcalretininの染色性が弱まることも海馬CA1領域の神経細胞の消失がみられた。
Maskey [44]	韓国大学、韓国	動物	神経系への影響、特に、脳ダメージ(calbindinD28kとGFAP、アポトーシス)	ICRマウス	835MHz、1日8時間3ヶ月の全身ばく露 全身平均SAR4W/kgおよび1.6W/kg	ばく露群において、calbindinD28kの減少、GFAPの増加がみられる。また、アポトーシス細胞は、海馬のCA1、CA3、錐体において検出された。これらより、ばく露が海馬における脳ダメージに関与している。
Vorobyov [45]	Cardiff School of Biosciences, 英国	動物	脳波への影響	Wistarラット	915MHz、TDMAパルス波、1分オン1分オフの繰り返し10分間、3セット/日、5日のおよばく露強度、SAR0.7mW/g	脳波を連続的に記録したところ、拍床下部のベータ波2活動は活性化される。
Raghetli [46]	Yuzuncu Yil University, トルコ	動物	神経系への影響(ブルキン工細胞、顆粒細胞)	マウス・スイスアルビノ	SAR 2W/kg、890-915MHz、パルス波、1日12時間(妊娠期間中のばく露)	ブルキン工細胞の減少と、顆粒の増加傾向が見られた。(補足:ばく露が妊娠期間中なのか、それとも出産後20日間も継続して行われたのか不明)
Sommez [47]	Gazi State Hospital, トルコ	動物	神経系への影響(ブルキン工細胞)	Wistarラット	900MHz、1日1時間28日間、全身平均 SAR 0.016W/kg、脳 2W/kg	小脳におけるブルキン工細胞がばく露で減少する。体重、脳重量には影響せず。(補足:ばく露は一般の携帯電話ではないか)

付録2 高周波を対象とした論文一覧

著者	研究機関・国	研究分類	指標	材料	ばく露条件・調査条件など	結果の要旨(論文筆者による結論)
Finnie [48]	Institute of Medical and Veterinary Science, 豪州	動物	神経系の影響(ミクログリアの活性化)	マウス	900MHz GSM波、全身ばく露4W/kg ばく露時間は60分(短期実験)、または、週5日連続で104週(長期実験)	ミクログリアの活性化は、Iba1抗体で検出できる限りは影響は見られない。
Takahashi [49]	日本	動物	仔(F1, F2)の発生異常、行動異常	SDラット	2.14GHz、1日20時間or妊娠7日目～出産までのばく露、全身平均SARは最大0.16W/kg	妊娠期間中の長期ばく露を行い生まれた仔(F1)、さらにそれらを交配して獲られた仔(F2)について、様々な指標で調べたが、発生異常、成巣異常、ならびに行動学的な異常について、有意な影響は見られなかった。
Bartsch [50]	チュービンゲン大学、ドイツ	動物	健康と生存	SDラット	900MHzの長期間の連続全身ばく露 全身平均SARは、80mW/kg(2ヶ月齢)、44mW/kg(4-6ヶ月齢)、38mW/kg(11-12ヶ月齢)	最大36ヶ月あるいは37ヶ月の長期ばく露を行った場合、ラットの寿命の短縮効果が見られた。実験した群では、平均72日、または77日の短縮であった。一方、実験した時期によって(動物の生まれた季節が異なるため)平均寿命に差がみられるため、より詳細な実験が必要である。
Esmelava [51]	Gazi大学、トルコ	動物	甲状腺への影響を形態的、組織病理的に調べる。	Wistarラット	900MHzの全身ばく露 1日20分のばく露を連続21日間。 全身平均SAR 1.35W/kg	形態学的な観察からは、甲状腺にhypothyroidismの傾向がみられた。また、組織病理的な観察より、アポトーシスの線を認めていり、カスパーゼ9およびカスパーゼ3の活性化がみられた。これより、電磁波ばく露により、カスパーゼ依存のアポトーシス経路が活性化されて、甲状腺機能に影響を与えることが示唆される。
Ozgur [52]	Gazi大学、トルコ	動物	肝臓における酸化ストレスとニトロソ化ストレス	モルモット	1800MHzの全身ばく露 1日10分間または20分間を7日間 全身平均SAR 0.38W/kg	ばく露群において、時間比例して、酸化ストレス関連物質が多くなっており、電波が肝臓の酸化ストレスを上昇させる一方、抗酸化剤の投与により予防効果が見られた。
Tomruk [53]	Gazi大学、トルコ	動物	酸化ストレスと肝臓へのダメージ	ウサギ、ニュージージーラッドホワイト	1800MHz、GSM/バルス波、1日15分、7日間 SAR記載なし。(0.1W)	8-ヒドロキシデオキシグアノシン濃度は差がないが、マロンアルデヒド濃度と脂質の過酸化レベルは増加した。このことは、1800MHzGSM波は酸化ダメージを誘導する可能性を示している。
Lee [54]	Korea Institute of Radiological and Medical Sciences, 韓国	動物	生殖(精子形成)における影響	SDラット	848.5MHz CDMA波、90分/Day、週5日、12週間のばく露 全身平均SAR 2W/kg	精子形成、精原細胞数、アポトーシス細胞数、タンパク質発現(p53, bcl-2, p21, PARP)について影響なし。形態的、組織病理的にみても影響は見られない。
Yamashita [55]	東京大学	動物	エストロゲン様活性への影響	SDラット	1439MHzTDMA波、1日4時間の3日連続ばく露、全身平均SAR0.99W/kg、脳平均6.1W/kg	17βエストロジオール濃度とエストロゲン活性(子宮重量)には影響なし。
Salama [56]	徳島大学、アレクサンドリア大学、エジプト	動物	生殖能力への影響、精巣機能	ウサギ、ニュージージーラッドホワイト	800MHzGSM/バルス波、1日8時間12週間、全身平均SAR0.43W/kg	精子濃度はばく露8週で有意な差がみられた。精子の運動率は10週までは差がないが、それ以降、ばく露群において、減少がみられた。また、精細管の内腔が有意に減少した。(補足:ばく露は一般の携帯電話)
Belyaev [57]	Stockholm University, スウェーデン	細胞	遺伝毒性(DNA二本鎖切断、DNA修復)	ヒト繊維芽細胞(VH-10)、間充織幹細胞	900MHz帯GSM波、1947MHzUMTS波、SAR37-39W/kgで1~3時間の短期ばく露、1日1時間or2週間の長期ばく露 遺伝毒性試験としてγ線照射(3Gy)および熱処理(41℃)を行う。	繊維芽細胞、間充織幹細胞ともに、いずれの電波ばく露においても53BPfociの形成を阻害した。一方、その他の反応については、2つの細胞系統に差が見られ、幹細胞の方がより影響が観察された。このことより、幹細胞の方が、リスク評価に適していると考えられる。
Franzellitti [58]	University of Bologna, イタリア	細胞	遺伝毒性(DNA損傷)	HTR-8/Svneo (ヒト着床細胞)	1.8GHzCWおよびGSM波、5分on-10分offの繰り返しで最大24時間、SAR2W/kg	GSM波ばく露では、コメットアッセイで見られるDNA切断が上昇したが、ばく露後2時間以内でその反応は回復した。定常波ではその影響は見られない。

付録2 高周波を対象とした論文一覧

著者	研究機関・国	研究分類	指標	材料	ばく露条件・調査条件など	結果の要旨(論文筆者による結論)
Zhijian [59]	Zhejiang University, 中国	細胞	DNA損傷とDNA修復	ヒトリンパ芽細胞	1800MHzで最大28時間連続(SAR 2 W/kg) ドキンルピニン(DOX, DNA合成阻害剤)処理, および DOXと電波ばく露の相乗的効果	電波ばく露単独では, DNA損傷はみられなかったが, DOX+電波ばく露の条件においては, DOXによって誘導された損傷のDNA修復に影響が見られる。
Bourthoumieu [60]	Limoges University, フランス	細胞	遺伝毒性・突然変異	ヒト羊膜細胞	900MHz GSM波で, 最大連続24時間, 平均 SAR 0.25W/kg, ヒートSAR 2W/kg	遺伝毒性・突然変異は観察されなかった。
Hintzsohe [61]	University of Wuerzburg, ドイツ	細胞	遺伝毒性・突然変異	ヒト(ボラテンティア)から提供された細胞	詳細のばく露条件は不明。研究参加者の携帯電話の通話あたりの使用時間および合計の使用年数によって分ける。	Yadav(2008)は微小核の増加を報告しているが, 本研究はそのような結果は得られず, Yadavらの結果を追認することはできなかった。
Luukkonen [62]	University of Eastern Finland, フィンランド	細胞	DNA損傷, 活性酸素種の発生	ヒト神経芽細胞SH-SY5Y	900MHz GSM 波, 最大3時間のばく露。 SAR5W/kg	活性酸素種の発生, DNA損傷について影響が見られなかった。
Gerner [63]	Medical University Vienna, オーストリア	細胞	タンパク合成(プロテオーム解析)	Jurkat細胞(ヒトリンパ芽球), 繊維芽細胞, 活性化白血球	1.8GHz CWおよびGSM波で5分on-10分offの繰り返しで8時間, SAR2W/kg	Jurkat細胞, 繊維芽細胞においては, プロテオーム解析で有意な増加が見られ, 反対に活性化白血球では有意な減少が見られた。未活性の白血球では変化がなかった。変化があった場合でも2時間でリバースプルな回復が見られた。
Hirose [64]	日本	細胞	生合成特異的タンパク質の合成とサイトカインの産生	マイクログリア細胞	1.95GHz, 連続で2時間のばく露。 SARIは最大2W/kg	サイトカインは, TNF- α , IL-1 β , IL-6について調べた。これらについてはばく露の影響を認めなかった。
Lee [65]	Korea Institute of Radiological and Medical Sciences, 韓国	細胞	細胞周期とその調節タンパク質の発現	ヒト乳がん由来MCF-7細胞	837MHz CDMA波, 1950MHz W-CDMA波の単独ばく露 (SAR4W/kg) または同時ばく露 (SAR各2W/kg, 合計4W/kg)	細胞周期調節タンパク質p53, p21, サイクリン, サイクリン依存性キナーゼについては影響がない, DNA合成, 細胞分裂についても影響はない。
Nylund [66]	STUK - Radiation and Nuclear Safety Authority, フィンランド	細胞	タンパク質発現	ヒトのさい帯静脈血管内皮細胞, 脳微小血管内皮細胞, 神経細胞	1800MHz GSM波, 1時間ばく露, SAR2 W/kg	2次元電気泳動法により368スポットのタンパク質の発現を比較した。2つの異なる内皮細胞のどちらにおいてもばく露によってタンパク質が増減することはなかった。
Sekijima [67]	日本	細胞	遺伝子発現, 細胞複製	ヒト神経芽腫細胞(A172), 神経膠細胞, 繊維芽細胞	2.14GHz W-CDMA波, 24時間または96時間。 SARIは最大800mW/kg, 隣性対照としては熱処理を与えた。	細胞の成長や生存率には影響を与えなかった。また遺伝子については, 16000~19000遺伝子のうちの1%以下の遺伝子に発現の差がみられたが, 傾向性はなかった。また, 低いSAR (ICNIRPガイドラインレベル)で96時間のばく露を行ったが影響は見られなかった。
Falzone [68]	Tshwane University of Technology, 南アフリカ	細胞	細胞運動性, 細胞分裂, 複製	ヒト精子細胞	900MHzで60分, SAR2W/kg, 5.7W/kg	TUNELアッセイ, 遺伝子転位の測定, カスパーゼ活性, 活性酸素種の発生はいずれも影響が見られなかった。
Xu [69]	Third Military Medical University, 中国	細胞	酸化ストレス (8ヒドロキシデオキシグアノシン濃度)	ラットの皮質ニューロン初代培養	1800MHz GSM波で5分on-10分offの繰り返しで最大24時間, SAR2W/kg	ばく露群においてニューロンの活性酸素種発生が増加。24時間でミトコンドリア内の8ヒドロキシデオキシグアノシンレベルが有意に増加。ミトコンドリアDNAコピ一数もミトコンドリアRNA転写物レベルも抑制されていた。
Kowalczuk [70]	Health Protection Agency, 英国	細胞	細胞ばく露による第二高調波発生とその生物影響	ヒト神経芽細胞, ヒトメラノーマ細胞, ヒト繊維芽細胞, マウス神経芽細胞, チャイニーズハムスター卵巣細胞	880-890MHz, SAR は最大2.5mW/kgであり, ばく露時間10分以内	第2高調波が発生することはなく, 影響は見られない。
O'Connor [71]	The Babraham Institute, 英国	細胞	細胞機能(カルシウムレベル)	神経芽細胞(PC-12), ヒト血管内皮細胞, 初代海馬ニューロン培養	900MHz GSM波, 30分。 SARIは最大2W/kg	カルシウムは蛍光指示薬(Fura-2, Fura-PE3)を用いて測定。カルシウムレベルには影響が見られなかった。

付録2 高周波を対象とした論文一覧

著者	研究機関・国	研究分類	指標	材料	ばく露条件・調査条件など	結果の要旨(論文著者による結論)
Bak [72]	Nofer Institute of Occupational Medicine, Lodz, ポーランド	ヒト	神経系への影響(事象関連脳電位の変化)	ヒトボランティア	935MHz GSM波, 20分間ばく露。脳平均 SAR 0.81W/kg(注:通常の端末使用)	事象活動電位である、N100/N200/P200、聴性誘発電位である P300 の時間に変化はみられなかったが、ばく露時間中の P300 の強度が低下することがみられた。ばく露が終了すると、前値にまで戻ったが、これは電波の神経系への影響を示唆している。
Croft [73]	Swinburne University of Technology, 豪州	ヒト	安静時のヒト脳波のα波	ヒトボランティア	900MHz GSM波、1900MHz W-CDMA波、	900MHzのばく露時に若者の場合はα波の活動が強くなり、より年長の高いグループでは差がなく、1800MHzではこの様な影響は見られなかった。
Lowden [74]	Stockholm University, スウェーデン	ヒト	脳波	ヒトボランティア(携帯電話関連連症状の方を含む)	GSM波 3時間のばく露、SARは最大1.95W/kg その後睡眠した際の脳波を測定	ステージ2は4は通話後で9.5分の減少、ステージ2は8.3分の減少であった。しかしながら、携帯電話関連連症状の有無による差は認められなかった。
Vecchio [75]	Hosp. Fatebenefratelli, イタリア	ヒト	脳波計測における神経活動	ヒト(参加者は計21名)	900MHz, GSM波で45分、のばく露。SAR0.5W/kg	若い被験者に比べて年長者はGSM波のばく露中にα波の増加がみられた。このことは、老化が進んだ脳では、携帯電話電波によってα波の変化がみられることが示唆された。
Maganoti [76]	National Technical University of Athens, ギリシャ	ヒト	記憶タスク中の事象関連脳電位P600の変化	ヒト(参加者は20名)	900MHz、1800MHzで45分間のばく露。SAR不明(平均出力128mW)	事象関連電位PP600は、脳の前方、中央、後方エリアにおいてそれぞれ特有のパターンを示す。600は電波の存在していないときは女性に男性に比べて低い強さで現れているが、電波の存在下ではその差がなくなかった。
Mizuno [77]	日本	ヒト	脳血流	ヒト(被験者)12名	1.95GHz, CDMA波、脳平均2.02W/kg、30分間のばく露	30分間の電波ばく露によって、PETで観察される脳血流に変化は見られなかった。
Kwon [78]	University of Turku, Turku, フィンランド	ヒト	聴力への影響(脳幹反応)	ヒト(参加者は17人)	900MHz, GSM波で5分、SAR 0.82W/kg	聴力およびそれに伴う脳幹反応には携帯電話電波の影響は見られなかった。
Parazzini [79,80]	Consiglio Nazionale delle Ricerche, Milan, Italy	ヒト	聴力への影響	ヒト(参加者は73名)	1950MHz、20分間。SARは1.75W/kg(脳平均)	聴力への影響は見られなかった。
Okano [81]	東京大学	ヒト	眼球運動	ヒト(参加者は10名)	1.95GHz、30分間。SARは不明(250mW)	30分間のばく露で被験者の眼球運動への影響は認められない。
Sauter [82]	Charité-Universitätsmedizin Berlin, ドイツ	ヒト	注意と作業記憶	ヒト(参加者は30名)	900MHz, GSM波, SAR 10W/kg	注薬力テスト、作業記憶などの結果は、ばく露による影響を示すものではない。影響は認められない。
Wallace [83]	University of Essex, 英国	ヒト	(被験者の主観的な)不安、心拍、皮膚のコンダクタンス等	ヒト(51名の電磁過敏症者、132名の対照群)	420MHz, TETRA波、連続15分間、あるいは5分間x2回のばく露、SAR 271μW/kg	それぞれの指標については、ばく露または非ばく露、電磁過敏症か対照群かによって差は認められなかった。
Nam[84]	Korea Electrotechnology Research Institute, 韓国	ヒト	生理機能	ヒト(18名の電磁過敏症、19名の対照群)	CDMA波、300mWで30分間	それぞれの指標については、ばく露または非ばく露、電磁過敏症か対照群かによって差は認められなかった。
Riddervold [85]	University of Aarhus, Aarhus, デンマーク	ヒト	認知機能検査、主観的症状	ヒト(参加者は58名)	420MHz, TETRA波、54秒on、6秒offで45分間。SAR 2W/kg	認知機能および主観的症状については、影響がみられなかった。また、携帯電話関連連症状を呈する人についても有意な影響は見られなかった。
Thomas [86]	オーストラリア	ヒト	認知機能	ヒト	オーストラリア携帯電話利用者研究(MoPHEUS Study)として、236名を対象に調査	一部のテスト項目に有意差が見られたが、統計的に統計的な問題でありそれは携帯電話の電波が理由ではない。

付録2 高周波を対象とした論文一覧

著者	研究機関・国	研究分類	指標	材料	結果の要旨(論文筆者による結論)
Abrahamson [87]	オーストラリア	ヒト	認知機能	ヒト	ばく露条件・調査条件など 携帯電話利用者は高度なタスクをより早く、しかし不正確に行うという特徴が見られたが、これはスマートフォン・センサーベースの利用頻度と関連が見られ、電波の影響ではないと考えられた。
Heinrich [88]	University Hospital of Munich, ドイツ	疫学	電磁過敏症関連症状	断面調査	ドイツにおける住民(子どもと青年)の電磁レベルは低い。いくつかの項目において年齢等によって有意な差がみられたが、いずれも偶然的な差であると思われた。
Heinlich [89]	ドイツ	疫学	電磁過敏症関連症状・睡眠障害	断面研究	ドイツにおける住民(子どもと青年)の電磁過敏症関連症状・睡眠障害と電波強度の関連性は認められなかった。
Thomas [90]	ドイツ	疫学	問題行動	断面研究	電磁界ばく露と子どもの問題行動に関して関連性は認められなかった。
Milde-Busch [91]	Ludwig-Maximilians-University Munich, ドイツ	疫学	頭痛の発生	断面調査	1025名を対象に調査をした結果、電磁関係の機器の利用と頭痛の発症との関連性は認められなかった。
Mohler [92]	Swiss Tropical and Public Health Institute, スイス	疫学	睡眠の質	断面調査	4000名中1375名の参加協力を得て調査を行った。78%が電磁波で影響があるということを信じており、8.1%が自身が電磁過敏症であると回答した。日中の強い眠気を感じている人は29.5%おり、うち9.8%は睡眠障害を訴えた。しかしながら、眠気を感じる症状や、睡眠障害は電磁波ばく露とは関連がみられなかった。
Berg [93]	ドイツ	疫学	健康症状、睡眠障害	断面研究	RFの実測値と健康症状、睡眠障害との関連性は認められないが、基地局のリスク認知(心配)と、健康症状、睡眠障害については関連性が認められた。
Hartikka [94]	フィンランド	疫学	神経障害	症例対照研究	全部で113名のケースが参加し実際に完全に分析ができた99名について、一部の比較で有意な差がみられたが、携帯電話の使用とどの関連性を示唆するに十分なデータではなかった。症例が少なく信頼区間が広がったため、より症例を増やして研究する必要がある。
Cardis [95]	Multi-nation	疫学	脳腫瘍、神経障害	症例対照研究	13カ国共同研究(INTERPHONE研究)の結果、携帯電話の利用と脳腫瘍の発生については関連性を認めなかった。
Elliott [96]	イギリス	疫学	小児白血病、小児脳腫瘍、小児のがん	症例対照研究	イギリスにおける1~4歳を対象にしたケースコントロール研究(対象者は症例は1397例、対照群は5588名)
Divani [97]	University of Southern California, アメリカ	疫学	問題行動	コホート研究	デンマークでの新生児コホートにおいて、母親の妊娠時の携帯電話の使用と、子が7歳になった際の問題行動についてのアンケート調査(対象者28745名)を行った。母親の妊娠期間の居住の場所と携帯電話の基地局との距離と、指標にしたがんとの関連性は見られない。問題行動を抱える子どもは、母親が妊娠期間および出産後に携帯電話を使用した場合、使用していない場合と比べて1.5(GI 1.4-1.7)となった。これら、Divani(2008)の結果と同様であった。

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
22年度分担研究報告書

電磁界の神経系への生体影響に関する研究 文献調査

研究分担者 梅景 正 東京大学環境安全本部 准教授

研究要旨

文献調査および磁場影響の考察から、日常生活で経験する電磁場での健康障害への明らかな直接的リスクは認められなかった。但し、酵素反応について影響があったとする報告が多く見られ、酵素反応に対する磁場効果の影響については研究継続が必要と考えられる。さらに、電磁界の生体影響について、影響するかどうかの結果が、研究対象の状態（生体側の要因）で異なるとした報告が複数あり、研究条件のきめ細かい設定が重要と思われた。電磁界を用いた臨床応用については、すでに臨床の場で応用されていることも多いが、そのメカニズムは不明なことが多く安全な利用については検討課題として重要である。

A. 研究目的

電磁波の生体への影響について、多くの議論なされている。本研究班では、主として実験的なアプローチを行うとしているが、同時に個体に大きな影響が及ぶ可能性を持つ細胞・分子レベルの変化についての研究の文献的検討も重要である。昨年までの文献調査に引き続いて、本年は2010年1月から12月の期間について文献調査を行った。また、以上の文献調査の結果をもとに、電磁界の分子レベルでの作用、生体への影響について考察した。

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：

昨年度までの文献調査(期間:2006年1月から2009年12月)に引き続いて、本年は文献調査(期間:2010年1月から2010年12月)を行った。

2) 文献の抽出方法について：

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」をキーワードとして検索を行った。その中から、特に分子生

物学的または物理化学的に実験的なアプローチをした論文を抽出した。

C. D 研究結果および考察

- 1) 2010年1月から2010年12月の期間について、「electromagnetic」and「DNA or gene」をキーワードとして検索を行った結果、88の論文が該当した。
- 2) その中で、特に分子生物学的または物理化学的に実験的なアプローチをした論文は32編であった。以上の文献について、資料1：文献2010.1から2010.12としてまとめた（資料1）。
- 3) また、上記の論文について、著者、電磁場、サンプル、研究方法、結果について、表1にまとめた。
- 4) 以上の文献調査の結果をもとに、電磁界の分子レベルでの作用、生体への影響について考察した。

分子生物学的または物理化学的に実験的なアプローチをした論文32編について、下記にその知見をまとめた（表1を参照）。

- (1) 低周波 ELF の影響についてについて：

影響があったとする報告を次に示す。EMF(5mT)環境で、ヒト間葉幹細胞(hMSCs)を用いて、軟骨細胞の分化の程度を測定して、collagen type II 発現と glycosaminoglycan 量の増大が認め

れた(1)。ELF-EMF(1.8mT)、ヒト椎間板細胞を用いて、aggrecan, collagen type I, and type II mRNAの発現について有意な変化はなかった(6)。ELF-EMF、N9ミクログリア細胞を用いて調べ、JAK2およびSTAT3のリン酸化に有意な変化がみられた(8)。ELF-EMF、雄Wistar ratsの肝臓、腎臓のDNAを調べ、細胞死などに有意差が認められた(9)。ELF-EMF(1mT)、C57BL/6 miceについて、海馬の神経再生が増加することが見出され、新たな治療法の可能性を示唆した(10)。ELF-EMF(6mT)、ヒトの正常および癌細胞ともにアポトーシスを誘導した(11)。ELF-EMF、上皮細胞を用いて遺伝子発現をみて、発現量の増加(DKK1, TXNRD1, ATF3, and MME)および発現量の減少(MACF1)が認められた(12)。ELF-EMF(1mT, 50 Hz)、ヒト白血病細胞K562を用い、アポトーシスを起こしている細胞数を調べ、影響は細胞の状態により異なることを示した(15)。PEMF、骨芽腫様細胞を用いて、DNA microarray解析を行った結果、細胞の分化、増殖について有意な変化が認められた(18)。2.45 GHz EMFによるN9ミクログリア細胞への影響で、結合能の増加(STAT3 DNA-binding ability)、活性化(JAK1 and JAK2)が認められた(23)。PEMF(3.8 mT, 8 Hz)、卵巣摘出ラットの破骨細胞で、発現量(treceptor activator of NF-kappa-B and carbonic

anhydrase II) に有意差があり、骨髄培養システムに影響があることが示唆された (24)。EMF (15 Hz, 1 mT)、ラット骨髄間葉幹細胞について、osteogenic or adipogenic lineages に関わる蛋白の発現や酵素活性に影響があった (25)。ELF-EMF (50Hz 1 mT) の条件で、ピロリ菌の動態 (細胞接着など) について調べて、影響が認められた (28)。ELF-EMF (1 mT 50 Hz)、乳癌細胞で、melatonin receptor MT1 のシグナル伝達に影響が出ることを示唆した (30)。PEMFs、ヒト骨髄間葉幹細胞を用いての研究で、増殖について促進作用を示した (31)。

ELF-EMF についての研究で、影響がなかったとする報告を次に示す。ヒト椎間板細胞について、ELF-EMF の刺激で、aggrecan, collagen type I, and type II mRNA の量に変化はなかった (5)。ELF-MF (0.4mT)、ヒト絨毛膜絨毛で、apoptosis 関連物質 (bcl-2, bax, caspase-3, p53, and fas) を調べ、発現レベルに有意差はなかった (14)。ELF-EMF (1 mT)、ヒト細胞で細胞増殖について調べ、影響はなかった (29)。他の要因も考慮する必要があるが、調査した報告からは、1 mT 以上の ELF-EMF について、有意差があるとする報告が多い傾向が認められた。

磁場の影響がゆういであるかどうかの結果が、研究対象の状態 (生体側の要因) で異なるとした報告を次に示す。EMF (8 and 80 μ T, 60 Hz)、plasmid を用いた hsp70 の発現では、

細胞によって、有意な変化を示した (6)。ELF-EMF、ラット olfactory bulb estrogen 受容体の発現をみて、影響あり (female adult rats) および影響なし (male rats) と、結果が分かれた (22)。

(2) 高周波 RF の影響について:

影響があったとする報告を次に示す。携帯電話領域 (GSM-900MHz, DCS-1800MHz) の影響について、ショウジョウバエを用いて、生殖能を調べ、有意差があった (16)。1.5 W/kg、ラット脳において、GFAP (glial fibrillary acidic protein) の発現が増加した (17)。890-MHz GSM (1.0 Watt/kg) を、ヒト側頭葉の近傍にあてた際、血清 TTR (transthyretin) 濃度の有意な増加が認められた (19)。900MHz (10V/m)、ラットアストログリア培養細胞で、ROS levels および DNA fragmentation について影響があった (20)。RF-EME (2 W/kg)、ヒト培養細胞で、蛋白合成 (protein synthesis in Jurkat T-cells and human fibroblast) が高まった (21)。携帯電話使用者の口腔内粘膜を顕微鏡で調べたが、影響はみられなかった (27)。1800 MHz RF、初代培養ニューロンで、8-OHdG (8-hydroxyguanine) のレベル、DNA 酸化障害の生体指標を調べ影響があることが示唆された (31)。

高周波 RF について影響がなかったとする報告を示す。900 MHz (2.6 to 73 mW/kg) で、ヒ

ト角化細胞に関し、47000 のヒト遺伝子について大規模 microarray screening を行ったが、有意な変化をする遺伝子は見い出されていない (2)。900-MHz (2 W/kg) で、ラット骨髄細胞を用いて研究で、リンパ球の増殖について有意な変化なかった (3)。2 W/kg の磁場強度で、bone marrow cells について、骨髄細胞の増殖、赤血球細胞の成熟度、リンパ球、DNA 障害、造血能について有意な変化はなかった (4)。

(3) 治療との関連での報告について：

ELF-EMF (1mT)、C57BL/6 mice について、海馬の神経再生が増加することが見出され、新たな治療法の可能性を示唆した (10)。5 Hz, 1Gauss EM pulsed field で、骨幹細胞を用いて、定量的 RT-PCR で様々な骨代

代謝に関する物質 (bone morphogenetic protein 2, transforming, osteoprotegerin, osteocalcin, and bone sialoprotei) の発現の増加を示した (13)。PEMF、骨芽腫様細胞を用いて、DNA microarray 解析で、細胞の分化、増殖に有意な変化が認められた (18)。静磁場 128 mT で、雄ラット脳を用いた研究で、MDA (malondialdehyde) 濃度、抗酸化酵素活性を調べ、酸化による障害に対しての保護作用を示唆した (26)。PEMFs、ヒト骨髄間葉幹細胞を用いた研究で、増殖促進作用を示した (31)。

資料1 文献 2010.1 から
2010.12

1. Mayer-Wagner S, Passberger A, Sievers B, Aigner J, Summer B, Schiergens TS, Jansson V, Müller PE. Effects of low frequency electromagnetic fields on the chondrogenic differentiation of human mesenchymal stem cells. *Bioelectromagnetics*. 2010 Dec 22.
2. Roux D, Girard S, Paladian F, Bonnet P, Lalléchère S, Gendraud M, Davies E, Vian A. Human keratinocytes in culture exhibit no response when exposed to short duration, low amplitude, high frequency (900 MHz) electromagnetic fields in a reverberation chamber. *Bioelectromagnetics*. 2010 Dec 22.
3. Kumar G, Wood AW, Anderson V, McIntosh RL, Chen YY, McKenzie RJ. Evaluation of hematopoietic system effects after in vitro radiofrequency radiation exposure in rats. *Int J Radiat Biol*. 2010 Nov 10.
4. Kumar G, Wood AW, Anderson V, McIntosh RL, Chen YY, McKenzie RJ. Evaluation of hematopoietic system effects after in vitro radiofrequency radiation exposure in rats. *Int J Radiat Biol*. 2010 Nov 10.
5. Lee HM, Kwon UH, Kim H, Kim HJ, Kim B, Park JO, Moon ES, Moon SH. Pulsed electromagnetic field stimulates cellular proliferation in human intervertebral disc cells. *Yonsei Med J*. 2010 Nov 1;51(6):954-9.
6. Heredia-Rojas JA, Rodríguez de la Fuente AO, Alcocer González JM, Rodríguez-Flores LE, Rodríguez-Padilla C, Santoyo-Stephano MA, Castañeda-Garza E, Taméz-Guerra RS. Effect of 60 Hz magnetic fields on the activation of hsp70 promoter in cultured INER-37 and RMA E7 cells. *In Vitro Cell Dev Biol Anim*. 2010 Oct;46(9):758-63.
7. Garaj-Vrhovac V, Gajski G, Pažanin S, Sarolić A, Domijan AM, Flajs D, Peraica M. Assessment of cytogenetic damage and oxidative stress in personnel occupationally exposed to the pulsed microwave radiation of marine radarequipment. *Int J Hyg Environ Health*. 2011 Jan;214(1):59-65.
8. Yang X, He G, Hao Y, Chen C, Li M, Wang Y, Zhang G, Yu Z. The role of the JAK2-STAT3 pathway in pro-inflammatory responses of EMF-stimulated N9 microglial cells. *J Neuroinflammation*. 2010 Sep 9;7:54.

9. Emre M, Cetiner S, Zencir S, Unlukurt I, Kahraman I, Topcu Z. Oxidative stress and apoptosis in relation to exposure to magnetic field. *Cell Biochem Biophys*. 2011 Mar;59(2):71-7.
10. Cuccurazzu B, Leone L, Podda MV, Piacentini R, Riccardi E, Ripoli C, Azzena GB, Grassi C. Exposure to extremely low-frequency (50 Hz) electromagnetic fields enhances adult hippocampal neurogenesis in C57BL/6 mice. *Exp Neurol*. 2010 Nov;226(1):173-82.
11. Kim J, Ha CS, Lee HJ, Song K. Repetitive exposure to a 60-Hz time-varying magnetic field induces DNA double-strand breaks and apoptosis in human cells. *Biochem Biophys Res Commun*. 2010 Oct 1;400(4):739-44.
12. Collard JF, Mertens B, Hinsenkamp M. In vitro study of the effects of ELF electric fields on gene expression in human epidermal cells. *Bioelectromagnetics*. 2011 Jan;32(1):28-36.
13. Jansen JH, van der Jagt OP, Punt BJ, Verhaar JA, van Leeuwen JP, Weinans H, Jahr H. Stimulation of osteogenic differentiation in human osteoprogenitor cells by pulsed electromagnetic fields: an in vitro study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2010 Aug 23;11:188.
14. Sun W, Tan Q, Pan Y, Fu Y, Sun H, Chiang H. Effects of 50-Hz magnetic field exposure on hormone secretion and apoptosis-related gene expression in human first trimester villous trophoblasts in vitro. *Bioelectromagnetics*. 2010 Oct;31(7):566-72.
15. Garip AI, Akan Z. Effect of ELF-EMF on number of apoptotic cells; correlation with reactive oxygen species and HSP. *Acta Biol Hung*. 2010 Jun;61(2):158-67.
16. Chavdoula ED, Panagopoulos DJ, Margaritis LH. Comparison of biological effects between continuous and intermittent exposure to GSM-900-MHz mobile phone radiation: Detection of apoptotic cell-death features. *Mutat Res*. 2010 Jul 700(1-2):51-61.
17. Ammari M, Gamez C, Lecomte A, Sakly M, Abdelmelek H, De Seze R. GFAP expression in the rat brain following sub-chronic exposure to a 900 MHz electromagnetic field signal. *Int J Radiat Biol*. 2010 May;86(5):367-75.
18. Sollazzo V, Palmieri A, Pezzetti F, Massari L, Carinci F. Effects of pulsed