

電磁界問題の最近の動向（商用周波）

中園 聡

電力中央研究所

1979年の米国の疫学研究¹⁾により、送電線からの商用周波電磁界と小児白血病の関連性が指摘されて以来、世界各国で電磁界と健康への関心が高まっていった。電磁界は、静磁界・静電界から紫外線まで広範な周波数帯の非電離放射線を対象にしているが、ここでは商用周波電磁界、特に商用周波磁界に関する健康問題の経緯および、最近の動向について紹介する。

1. 電磁界問題の発端と経緯

1.1 米国の対応

電磁界と健康への公衆の関心の高まりに対し米国では1992年、エネルギー政策に関する法案第2118号にもとづき、EMF-RAPID計画(Electric and Magnetic Fields Research and Public Information Dissemination Program:電磁界の調査および情報公開普及計画)が開始された²⁾。この計画はDOE(米国エネルギー省)、NIEHS(米国国立環境健康科学研究所)により計画・立案され、1998年に作業部会報告書²⁾が、また1999年に最終報告書³⁾が提出された。これらの報告書では、疫学研究の結果を重視した国際がん研究機関(IARC)の発がん性評価手法を採用し、商用周波磁界の発がん性をグループ2B(ヒトに対し発がん性があるかもしれない(Possibly))に分類した。一方、この評価が有害性評価ではなくリスク評価であると誤解されたことにより、「送電線からの電磁界に発がん性があるかもしれない」と報道されたことが大きな話題になった。特に、英語のPossiblyのとらえ方がNativeと多言語の国家では異なる点から、世界各国からの科学者や規制当局者の間でも理解の齟齬が見られた。しかしながら、実際の評価としては「発がん性があるかどうかははっきりわからない」ということから、「どの程度ばく露を減らせば、どれくらいリスクが減少するか見積もることができず」、「ガイドラインや規制の対象になりえない」ということであり、これが理解されるまでに多くに時間を費やすことになった。

米国内では、連邦レベルでの商用周波帯の電磁界規制はなく、州単位で規制されており、その規制値・ガイドラインも必ずしも国際ガイドラインに基づいたものはない。

1.2 国際的な動向

国際的には、1996年に世界保健機関(WHO)による国際電磁界プロジェクトが発足⁴⁾し、商用周波電磁界を含めた広範な周波数帯の電磁界の健康リスク評価の国際協調を行うことになった。2002年、WHOの専門機関であるIARCにより、正式に商用周波磁界の発がん性が評

価された発がん性モノグラフが発行された⁵⁾。このモノグラフでもRAPID計画と同様に、小児白血病の疫学研究を根拠に発がん性がグループ2Bに分類された。さらに、2007年、WHOでは、商用周波（50Hz、60Hz）を含む超低周波電磁界（100kHz以下）のリスク評価書である環境保健クライテリア（EHC238）を発行した⁶⁾。この文章では発がん性に関して疫学的証拠が強くなっているものの、RAPID計画の最終報告書と同様にその発がん性をグループ2Bに分類した。また、他の健康影響については発がん性よりもさらに証拠が弱いこと、科学的証拠に基づいた国際ガイドラインに基づいた磁界管理を推奨した。一方、小児白血病に関する不確実性からプレコーシヨンの管理の導入に関して肯定的であった。EHCはこれを監修した科学者の見解を示したものであるが、WHOの公式見解と誤解される可能性があったことから、WHOはEHCの公表と同時にWHOの見解としてのファクトシート322を公表した⁷⁾。この文書ではプレコーシヨンの管理の導入を推奨せず、国際ガイドラインに基づいた磁界管理のみを推奨した。しかしながら特に欧州では、後述するとおり国際ガイドラインより厳しいプレコーシヨンの磁界管理が広がっていった。

一方、これらのリスク評価を受け国際非電離放射線防護委員会（ICNIRP）では、2010年に商用周波を含む1Hz～100kHzの超低周波電磁界のガイドラインを改定した⁸⁾。このガイドラインでは科学的に合意された証拠として神経刺激作用を採用している。商用周波では網膜刺激によって生じる磁気閃光を防護できるようガイドラインが決められた。磁気閃光が健康影響かどうかという議論は依然として残されているが、ICNIRPでは網膜は中枢神経の一部であり、網膜への刺激を防護することは中枢神経を意図しない刺激による健康影響から防護できる、という保守的な考えにもとづいたガイドラインを策定している。改定ガイドラインでは、基本制限が体内誘導電流から体内誘導電界へ変更され、公衆に対する参考レベルが50Hz（100 μ T）、60Hz（83.3 μ T）⁹⁾から、いずれも200 μ T⁸⁾に緩和された。

基本的に各国の規制・磁界管理方策はICNIRPガイドライン（1998；50Hz（100 μ T）、60Hz（83.3 μ T））⁹⁾、一部は改定ガイドライン（2010；200 μ T）⁸⁾に対応している。ただし前述の通り米国では州単位での規制となっており必ずしも国際ガイドラインに対応したものになっていない。わが国ではICNIRPの改定ガイドライン（2010）に対応しているが、欧州ではICNIRPガイドライン（1998）に対応しており、後述の通り磁界管理の方策も多様である。

1.3 電磁界問題に対する国内の対応

国内では、2007年に経産省で電力設備電磁界対策ワーキンググループが設置され、「高レベルの磁界による短期的な健康影響に係る対応」および「低レベルの磁界による長期的な健康影響の可能性に係る対応」として、（1）更なる研究プログラムの推進、（2）リスクコミュニケーション活動の充実、（3）ばく露低減のための低費用の方策、の4つの提言¹⁰⁾がされた。このうち「短期的な健康影響に係る対応」として、2010年に、経産省より

ICNIRP改定ガイドラインに対応した「電気設備に関する技術基準を定める省令」が公布され、電力設備からの磁界かが $200\mu\text{T}$ 以下になるように定められた¹¹⁾。

以上のことから、科学的に不明確な点が残されているものの、商用周波電磁界の健康問題に関してはいったん収束し、公衆の関心は携帯電話等の高周波電磁界の健康影響に移っていた。

2. 商用周波電磁界の健康問題に関する最近の動向

2.1 欧州の最新動向

公衆の関心は全体的には収まってきたものの、再生可能エネルギーの大量導入に伴う送電線の新設、ルート変更などに伴い一部の地域では電磁界の健康影響への関心はたかまっている。欧州では、規制や管理の手法が国によって異なるが、大きく3つに分類可能であると報告¹²⁾されている。第1グループ（ドイツ、フランスなど）は、法的な拘束力のある制限値を設けており、加えて一部の国ではプレコーシヨンの対応も導入されている。第2グループ（英国、デンマーク、オランダなど）は、拘束力のないガイドラインもしくはEU勧告（ICNIRP1998に準拠）を事業者が自主的に適用しており、同様に一部の国ではプレコーシヨンの対応も導入されている。第3グループ（ベルギー、イタリア、スロベニアなど）は、プレコーシヨ原則もしくは公衆からの圧力に基づくより厳格な制限値が設けられている⁹⁾。加えて、欧州では、EU指令にもとづき、2016年より電磁界の職業ばく露に対し加盟各国が国内法に取り入れられ、事業者の対応が進められている¹³⁾。

このような背景のもと、欧州を中心に様々な研究が進められている。2012年、FP7でARIMMORAプロジェクト(Advanced Research on Interaction Mechanisms of electroMagnetic exposures with Organisms for Risk Assessment)と呼ばれる、小児白血病に関する研究プロジェクト(3年間)が行われていた。このプロジェクトでは、小児白血病への影響を評価するための遺伝子組換えマウスの開発、免疫系に着目した影響メカニズムの確認、IARCの評価手法を用いた小児白血病に対する評価(グループ2Bに変更なし)を行った¹⁴⁾。またフランスでも、同様に小児白血病に着目した研究プロジェクト(CLeMAn:3カ年)が2015年より行われたが、げっ歯類への商用周波磁界の影響は確認できなかった。また、欧米の送電事業を中心とした神経刺激に関する研究プロジェクト(UTIC:Utility Threshold Initiative Consortium)が行われており、ヒトを被験者として、商用周波磁界のガイドラインの根拠となっている磁気閃光閾値を解明するための研究が進められている¹⁵⁾。

ドイツでは再生可能エネルギーの生産地である北部から、需要地である南部への送電計画が進められているが、架空送電線の新設に対し、電磁界と健康に対する関心が高いことから、電磁界の健康影響に関する新たな研究プロジェクト(6年間)を2018年に立ち上げた¹⁶⁾。この大型プロジェクトでは、市民からの意見も反映し、リスクコミュニケーション上重要な研究として、①商用周波磁界と神経変性疾患の関連性の解明(筋萎縮性側索硬化症

(ALS)、アルツハイマー病)、②電磁界と知覚および閾値解明(中枢神経系、末梢神経系、商用周波、直流、接触電流)、③小児白血病の原因解明(疫学、動物モデル)、④商用周波磁界の共発がん性、⑤磁界と流産の関連性の研究、⑥高圧送電線でのコロナイオンの発生、伝播、吸収の研究、⑦公衆のばく露データ収集とばく露評価、⑧リスク認知とリスクコミュニケーション、の8つのプログラムが計画されている。特に⑧リスクコミュニケーション、①神経変性疾患、③小児白血病に関しては高い優先順位での執行が求められている。

2.2 最新の国際動向

先に示した通り、商用周波磁界の健康影響は、小児白血病に対する疫学研究が発端となっているが、近年はプレコーシヨンの磁界管理へとその影響を広げている。2002年のIARCによる発がん性モノグラフでは、疫学調査のプール分析によりその関連性が指摘されたが、2018年、最新の疫学研究を反映した同様の国際プール分析の結果が報告された。その結果、送電線からの距離と小児白血病の発症に統計学的に有意な関連は見られないものの、これまでと同様の傾向がみられることからグループ2Bの評価に変更がないことが示された¹⁷⁾。

IARCの発がん性評価では、ヒトへの発がん性、すなわち疫学研究の成果を重要視する。実際、商用周波磁界の発がん性評価では、動物の発がん性やメカニズムの研究では、磁界との関連性が見られない(不十分な証拠)ものの、疫学研究の証拠(限定的)からグループ2Bの分類を行っている。2019年、IARCはモノグラフの前文を改定し、①グループ4を廃止しグループ3に統合、②メカニズム研究の証拠を採用、③リスク評価ではなく有害性評価であることを明記、した¹⁸⁾。このことから、誤解を招きやすかったIARCの発がん性評価の報道が正常化する可能性が高いこと、また、メカニズムの証拠が採用されることから、リスク評価の観点からより一貫性のある発がん性評価(有害性評価)が期待できるなど大幅な改善がみられた。

またICNIRPでは、ガイドライン改定から今年で10年になるが、2020年にICNIRPから超低周波電磁界の知識ギャップを公表し、ガイドラインの再改定に必要な研究を明らかにした。本文書によると、生物学的な研究として、今後、①痛覚閾値の解明、②神経変性疾患への影響、③小児白血病への影響、④神経ネットワークの発火パターン、⑤フリーラジカルの寿命、に関する研究がガイドライン改定の際に必要なことが示された¹⁹⁾。

2.3 国内の最新動向

2010年のICNIRPガイドラインの改定、および電力設備への磁界規制導入以降、国内での大きな動きは見られないが、電気学会では、電磁界の健康リスク分析調査専門委員会(第1期)および電磁界の健康リスク分析調査専門委員会(第2期)を立ち上げ、定期的に文献調査を行い、電磁界の健康リスク評価を行っている。第1期の報告書では、欧州のSCENIHR

(Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks) の2015年報告書²⁰⁾以降の科学論文をレビューし、SCENIHR2015の結論と同様に商用周波磁界のリスク評価に関しては2007年のEHC238の結論と同様であることを示した。

また、前述の電力設備電磁界対策ワーキンググループで示された4つの提言の内、「高レベルの磁界による短期的な健康影響に係る対応」、については磁界規制で対応しているが、低レベルの磁界による長期的な健康影響の可能性に係る対応として、「(1) 更なる研究プログラムの推進」については、2012年に「超低周波磁界ばく露と小児白血病発症に関する研究提言」²¹⁾を出したものの国レベルでの対応はされていない。一方、「(2) リスクコミュニケーション活動の充実」に関しては、電磁界情報センター²²⁾の設立で対応されており、「(3) ばく露低減のための低費用の方策」については、電気事業者にて従来行われてきた逆相化、高電圧化、高鉄塔化などの方策が引き続き行われている。

3. まとめ

商用周波電磁界の健康影響に関しては、一時期と比べ公衆の関心が低くなっているものの、再生可能エネルギー等の導入に伴う送電線の新設がある地域では依然として関心が高い。また、科学的な合意のある証拠に基づいて国際ガイドラインが決められているものの、科学的根拠となっている磁気閃光に関しては閾値が明確ではなく、ヒトを対象にした閾値解明の研究が進められている。欧州では小児白血病の不確実性からプレコーシヨンの管理が進められており、小児白血病への影響を明らかにすることは、合理的な磁界管理のために必要である。一方、欧州では、職業ばく露規制がすすめられており、神経変性疾患など新たな研究ニーズが生まれている。国内では、大型の研究プロジェクトはすすめられていないが、欧州でのプレコーシヨンの管理や職業ばく露規制の事例もあることから、海外の動向の把握や将来的なリスクコミュニケーション対応を見据えた研究推進が必要である。

参考文献

- (1) Wertheimer N. and Leeper E., Electrical wiring configurations and childhood cancer, *Am. J. Epidemiol.*, 109(3):273-84 (1979)
- (2) “Assessment of health effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic fields”, NIH Publication No 98-3981, NIEHS (1998)
- (3) “Report on health effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic fields”, NIH Publication No99- 4493, NIEHS (1999)
- (4) The International EMF Project, <https://www.who.int/peh-emf/project/en/> (2020/11/26)
- (5) IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans.

- Non-ionizing radiation, Part 1: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. Lyon, IARC, 2002 (Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 80).
- (6) World Health Organization (WHO): Extremely low frequency fields, Environmental Health Criteria, Vol. 238, WHO Press, Geneva, Switzerland, (2007).
 - (7) World Health Organization (WHO): “Fact Sheet 322” , WHO, Geneva, Switzerland, (2007).
 - (8) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIPP): “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz)” , Health Physics 99: 818-836 (2010).
 - (9) ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics, 74(4), 494-522. (1998)
 - (10) 経済産業省 原子力安全・保安部会 電力安全小委員会 電力設備電磁界対策ワーキンググループ、電力設備電磁界対策ワーキンググループ 報告書、平成 20 年 6 月
 - (11) 電気設備に関する技術基準を定める省令の解説、https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/sangyo/electric//files/dengikaisetsu.pdf (2020/11/26)
 - (12) Stam R., Comparison of international policies on electromagnetic fields, supported by the Ministry of Infrastructure and Water Management and the Ministry of Social Affairs and Employment of the Netherlands., National Institute for Public Health and the Environment, RIVM (2018)
 - (13) DIRECTIVE 2013/35/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, Official Journal of the European Union, 29.6.2013
 - (14) ARIMMORA, <https://arimmora-fp7.eu/> (2020/11/26)
 - (15) UTIC, <https://iutic.com/> (2020/11/26)
 - (16) Research programme of the Federal Office for Radiation Protection on “Radiation Protection in the Process of Power Grid Expansion” , https://www.bfs.de/EN/bfs/science-research/bfs-research-programme/grid-expansion/grid-expansion_node.html (2020/11/26)
 - (17) Amoon AT, Crespi CM, Ahlbom A, Bhatnagar M, Bray I, Bunch KJ, Clavel J, Feychting M, Hémon D, Johansen C, Kreis C, Malagoli C, Marquant F, Pedersen

- C, Raaschou-Nielsen O, Röösli M, Spycher BD, Sudan M, Swanson J, Tittarelli A, Tuck DM, Tynes T, Vergara X, Vinceti M, Wunsch-Filho V, Kheifets L, Proximity to overhead power lines and childhood leukaemia: an international pooled analysis, *Br J Cancer*, 119 (3): 364-373 (2018)
- (18) PREAMBLE, IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans, Lyon, France, Amended January 2019
- (19) ICNIRP STATEMENT, GAPS IN KNOWLEDGE RELEVANT TO THE “GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS (1 HZ-100 KHZ)” , *Health Phys.*, 118(5):533-542; 2020
- (20) SCENIHR, Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR), European Commission, Opinion of the SCENIHR 2015 01 20: 1-288 (2015)
- (21) 大久保 千代次、中園 聡、原 純一、宮越 順二、山口 直人、超低周波磁界ばく露と小児白血病発症に関する研究提言、https://www.jeic-emf.jp/recommendations_society/recommendations/childhood-leukemia.html (2020/11/26)
- (22) 電磁界情報センター、<https://www.jeic-emf.jp/index.html> (2020/11/26)