



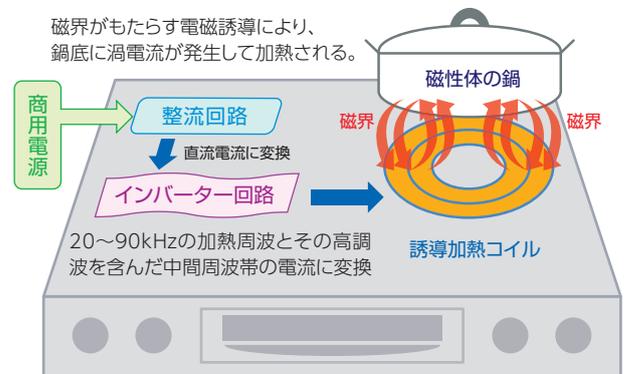
中間周波磁界の生物影響の評価

—マウスや微生物を用いて発がん性を評価する—



高い ↑ 周波数 ↓ 低い	GHz帯以上	サブミリ波 ▶ 通信	
	GHz帯	高周波 ▶ 電子レンジ・携帯電話	
	10kHz～MHz帯	長波～短波 ▶ ラジオ・テレビ	
	300Hz～10MHz	中間周波 ▶ IH調理器 (20～90kHz)	
	50、60Hz	商用周波 ▶ 送配電線	
	0Hz	静磁界 ▶ 地磁気・磁石	

電磁界の種類と主な用途



IH調理器から中間周波磁界が発生するしくみ

近年、IH調理器など300Hz～10MHzの中間周波数帯の磁界(中間周波磁界)を利用した電化製品が普及しています。このような製品を使う際にヒトが浴びる磁界は、国際非電離放射線防護委員会(ICNIRP)が定めた磁界ばく露ガイドラインの値を下回っていることが報告されています。この人体防護のための国際的なガイドラインは、人体の神経系などに対する磁界の刺激作用を根拠としていますが、その他の生体影響については十分明らかになっていません。そのため、世界保健機関(WHO)は、中間周波磁界の健康リスクを評価するための科学的知見の集積が必要であると指摘しています。

当所は、IH調理器などから発生する中間周波磁界の健康リスクを評価するため、これまでにラットなどの実験動物に対して磁界をばく露する実験を行い、検討した条件下では胎児の発生や生殖機能などへの影響はないという結果を得ています。しかし、磁界の発がん性については世界的にも科学的知見が少なく、まだ十分評価されていませんでした。そこで、マウスや微生物などを使った発がん性の評価を進めました。

1

健康リスクを科学的に評価

生物研究の特徴

ヒトや動物には個人差、個体差があるため、同じ量の薬物を摂取しても、全ての個体が同様に反応するわけではなく、ばらつきがあります。このため、リスク評価における生体反応は、集団や群として評価する必要があります。例えば、磁界を浴びせた「ばく露群」とばく露しない「対照群」を比較して、磁界の影響を確認します。このとき、病変の発生頻度や検査の平均値が少しでも違うと、磁界の影響があると考えがちです。しかし、実験では各群のサンプル数に限りがあるため、仮に影響がない場合でも、両群の数値が同一になるとは限りません。このため、両群の差に意味があるのか、個体のばらつきによる偶然なのかを統計学的に調べることが必要になります。

他にも、得られた結果が生物学的に説明できるか考察することも重要です。一般的に腫瘍は、正常な細胞が過剰に増殖して組織が肥大化する「過形成」が進行して発生します。実験動物による発がん性試験では、ばく露群と対照群を比較して腫瘍の発生頻度が増加した場合、偶然の可能性を調べるため、その組織における過形成の発生頻度も確認します。また、普通に生育した動物の腫瘍発生頻度の正常な範囲を示す「背景データ」との比較も欠かせません。このように、生物研究では、群間の数値を比較するだけでなく、様々な視点から結果を科学的に評価することが重要です。

研究の品質を高める工夫

化学物質や農薬、食品添加物などの毒性や安全性を評価する研究では、OECD（経済協力開発機構）などの国際機関から標準的な試験ガイドラインが示されています。ガイドラインは、過去の膨大な科学的知見を集約して策定され、対象となるリスクに応じた毒性試験の組み合わせ、細胞や動物の選定、ばく露期間、検査方法などが示されています。当所の生物研究は、これらを参考にして、リスク評価にとって大変重要な信頼性や再現性などの研究の品質を確保しています。

試験によっては、資格を持つ専門家が臓器の標本を顕微鏡で観察して病変を判定する場合があります。当所では、観察に先入観が入らないよう、動物に対する磁界ばく露の情報を伏せて標本の観察を行い、判定の信頼性を確保しています。また、過去には同じ研究でも研究機関によって結果が異なることがあったため、同一の試験を繰り返すことで再現性を確認しています。

さらに、当所の磁界ばく露装置は、外部からの磁界の影響を避け、動物の飼育棚では空間的に均一なばく露磁界となるように設計し、コイルの発熱や振動など、磁界以外の影響の低減にも配慮しています（図-1）。

このようにして得られた成果は、国際的な学術雑誌に投稿し、論文化しました。これにより試験結果の妥当性が客観的に評価され、国際的なリスク評価に反映されます。

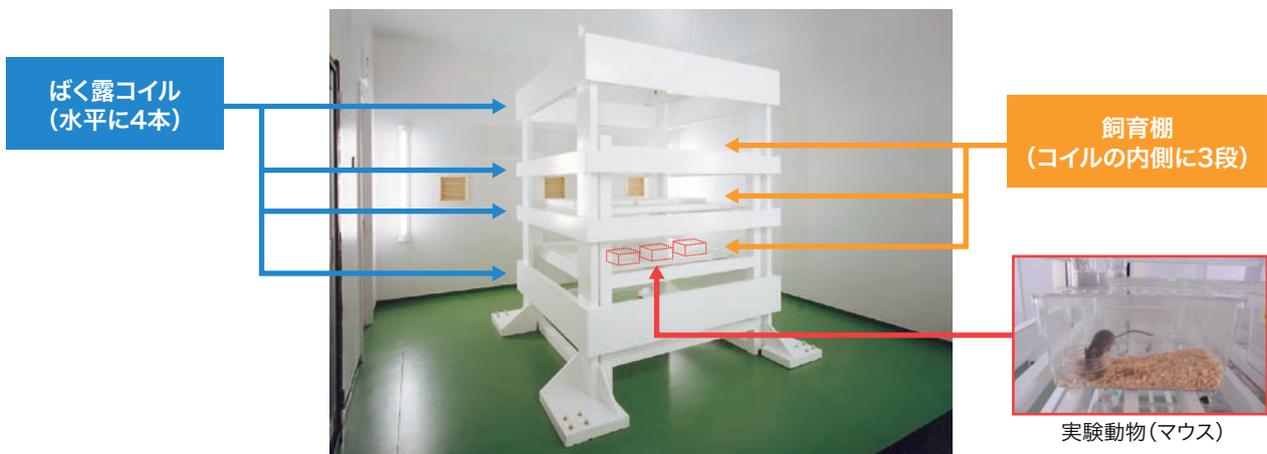


図-1 実験動物用中間周波磁界ばく露設備

水平な4本のコイルに中間周波数帯の電流を流し、内側の空間に均一な磁界を発生させました。その空間に3段の棚を設置して実験動物の飼育ケージを並べ、動物に磁界をばく露しました。

2

実験動物を用いて磁界の発がん性を検証

マウスによる短期発がん性試験

がんとは悪性腫瘍のことで、生体組織を構成する細胞が機能不全になり無制限に増殖する病気です。発がんは多段階のメカニズムで引き起こされると考えられており、細胞のDNAが傷つく「イニシエーション」、DNAに傷がついた細胞が異常増殖して過形成などの変化が起きる「プロモーション」、その細胞で更にDNAが傷ついて悪性化を起こす「プログレーション」があります。細胞におけるこれらの変化が、最終的にヒトや動物での発がんにつながると考えられています。

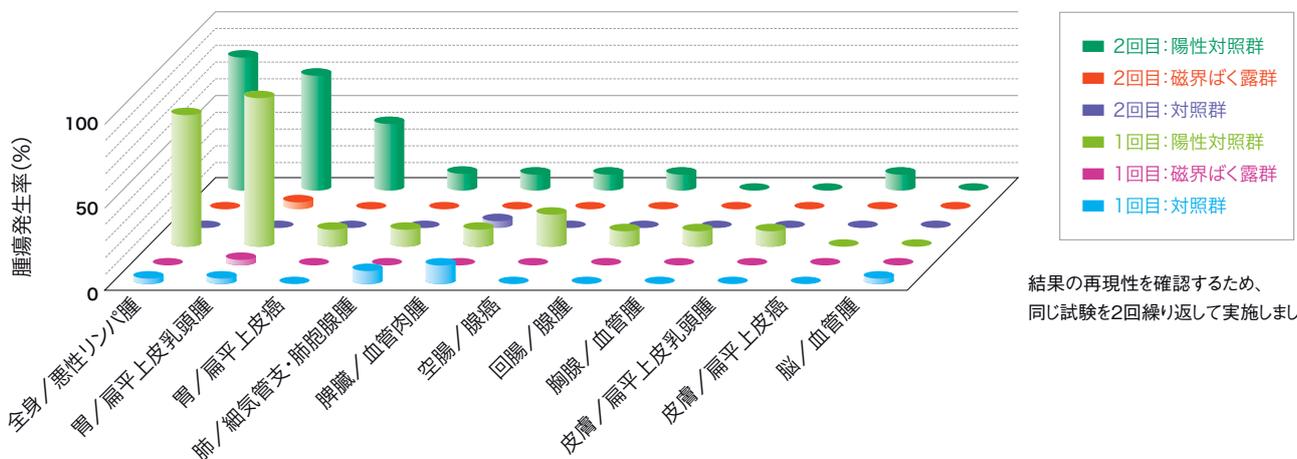
前述の国際的な試験ガイドラインでは、発がんの多段階メカニズムに基づいたスクリーニング試験として、細胞や微生物を使った様々な試験法が示されています。また、ラットやマウスを使い、ほぼそれらの寿命に相当する2年間で行う発がん性試験や、その試験の一部を代替する短期発がん性試験が示されています。

当所では磁界の発がん性を確実に調べるため、試験ガイドラインを参考に「マウスによる短期発がん性試験」と「発がんメカニズムに着目した細胞試験」の両方を行いました。短期発がん性試験では、半年で発がん性を検知できる遺伝子改変マウス(rasH2マウス)を用いました。このマウスにはヒトのがん遺伝子が導入されており、イニシエーションとプロモーションを検知できる特長があります。

短期発がん性試験では、雌雄各25匹のマウスを1群として、均一な強さの磁界を全身にばく露しました。磁界はIH調理器で加熱に使われる20kHzを用い、0.20ミリテスラ(mT)の強度で1日22時間、週7日、26週間、連続ばく露しました。この強度は、ICNIRPが磁界から人体を護るために定めた磁界ばく露のガイドライン値(0.027mT)の約7.4倍に相当します。

磁界ばく露後にマウスを解剖し、全身の48器官・組織の標本を観察した結果、磁界ばく露群と対照群との間で悪性腫瘍の発生頻度に統計学的に意味のある差はありませんでした(図-2)。群間で発生頻度が一致しない場合もありましたが、これは個体差によるばらつきと考えられます。また、両群の悪性腫瘍の発生頻度は、このマウスの正常な発生頻度の範囲と同等でした。両群とは別に、発がん性が有る化学物質を投与した陽性対照群も設け、悪性腫瘍が高い頻度で発生することを確認しました(図-2)。これは、試験に用いたマウスに発がん性を検知する能力があることを確認するための群で、試験ガイドラインに実施することが示されています。これらの試験を繰り返しても同様の結果となったことから、再現性も確認できました。

これらの結果は、検討した試験の範囲では、ばく露した磁界に発がん性がないことを示しています。



結果の再現性を確認するため、同じ試験を2回繰り返して実施しました。

図-2 20kHz磁界ばく露の短期発がん性試験における雄マウスでの主な腫瘍の発生率

試験結果では中間周波磁界は発がん性を示さず

発がんメカニズムに着目した細胞試験

磁界に、発がんのメカニズムであるイニシエーションやプロモーションの作用があるかどうかを評価するため、細胞や微生物を用いて図-3に示す各種試験を行いました。シャーレ内で培養した細胞や微生物を磁界ばく露群と対照群に等分し、ばく露群に20kHzもしくは60kHz、最大1.1mTの磁界を、イニシエーションに関わる試験では24～48時間、プロモーションの試験では10日間、連続ばく露し、ばく露後に細胞や微生物集団の数や大きさ、染色体異常などを計測しました。1つの実験条件でシャーレを3枚用い、同じ試験を5回繰り返した結果、磁界のばく露による再現性のある群間差はなく、検討した試験の範囲では、ばく露した磁界には発がんメカニズムは有りませんでした。

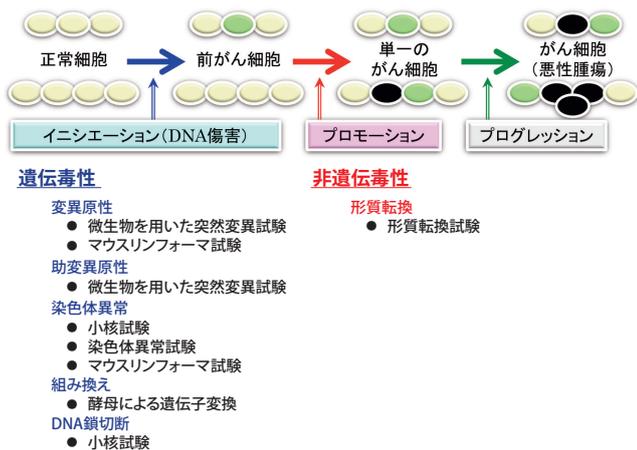


図-3 多段階の発がんメカニズムと実施した細胞試験

研究成果の意義

健康リスクを評価するためには、質の高い科学的な研究が不可欠です。今回、国際的な試験ガイドラインを参考に実施したいずれの試験も、実験した中間周波磁界には発がん性がないことを示す結果となりました。当所の結果を含め、これまでの国内外の研究において、中間周波磁界の発がん性の証拠を示した論文は有りません。これらの知見に基づけば、現時点では中間周波磁界の発がん性は管理すべき健康リスクの対象ではないと考えられます。

既刊の電中研ニュースNo.471では、ラットなどを用いた磁界ばく露実験によって、胎児の発生や生殖機能などへの影響がなかったことを紹介しました。今後も磁界の健康リスクについて、新しい生物研究によって更なる評価が行われる可能性もあります。IH調理器以外にも中間周波磁界を使った新技術が普及し始めていることから、新たなリスク研究にも注目していく必要があります。

欧州の健康リスクに関する科学委員会(SCENIHR)やドイツ連邦放射線防護庁(BfS)では、発がん性を含めた磁界のリスク評価や、評価に基づくガイドラインの策定、改定を進めています。そのため、現行の磁界ばく露ガイドラインは刺激作用に基づいていますが、ガイドラインの改定につながる刺激作用に関する知見や、刺激作用以外にガイドラインの根拠となりうる健康リスクの知見がないか、最新の研究論文を精査しています。

当所では、今後も健康リスク評価やガイドラインの改定に資する生物研究を継続していきます。

ひとこと

私たちの身の回りには、普段見慣れたものでも健康への影響がよくわかっていないものがあります。また、研究によってこのレベルまでなら影響がないという結果が得られていても、目に見えない、分かりにくい、なじみがない、といった理由から、漫然とした不安感を覚えてしまう場合もあります。当所では、これからも健康影響が未解明の様々な環境要因について、そのリスクを生物研究によって科学的に評価するとともに、得られた成果を正しく、分かりやすく紹介したいと考えています。

環境科学研究所 上席研究員 西村 泉



関連する論文 |

- Nakasono S, et al. (2008) Mutation Research 649, 187-200.
 Nishimura I, et al. (2011) Birth Defects Research (Part B) 92, 469-477.
 Nishimura I, et al. (2012) Regulatory Toxicology and Pharmacology 64, 394-401.
 Nishimura I, et al. (2016) Journal of Applied Toxicology 36, 199-210.
 Nishimura I, et al. (2019) Bioelectromagnetics 40, 160-169.