

# 電中研の研

電中研ニュース

No.471  
2012 Oct



環境

## 電磁界が生物に与える影響の評価

—実験動物を用いて中間周波磁界の影響を評価する—

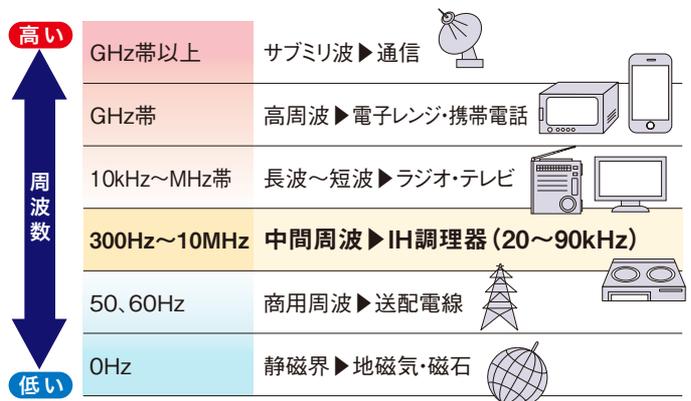


IH調理器のイメージ

近年、中間周波数帯(300Hzから10MHz)の磁界を使った家電製品(IH調理器など)や、産業用の機器(誘導加熱炉、盗難防止装置など)が増えています。

送配電線などから生じる商用周波数帯(50、60Hz)の磁界については、人間への健康影響を調べるための疫学調査や、実験動物や細胞を使った生物研究が多数行われました。しかし、中間周波数帯の磁界が人間の健康にどのような影響を与えるかについては、これまで十分に調べられていません。

特に、IH調理器の場合は、磁界が出る加熱コイルがお腹の近くにあるため、調理者が妊娠している場合は胎児への影響が気になります。そこで電力中央研究所では、IH調理器で使われている中間周波磁界が、生殖の機能や胎児の発生に影響するかどうかを、実験動物を使って研究しました。



電磁界の種類と主な用途

## 厳正な実験方法を採用

### 研究の目的と実験条件

世界保健機関(WHO)は、中間周波磁界の健康影響を評価するための生物研究が不足していることを指摘しています。IH調理器で使用する磁界の周波数(20~90kHz)は、この中間周波数帯に含まれます。磁界が出る加熱コイルはお腹の近くにあることから、調理者が妊娠している場合の生殖の機能や胎児の発生への影響を研究しました。

研究には、実験動物のラットと鶏の受精卵がある程度成長した鶏胚を使いました。そして、均一な磁界をばくせる(ばく露する)ため、当所が開発した動物用ばく露装置(図-1)と小型の細胞用ばく露装置(図-2)を用いました。

磁界の影響を科学的に評価するため、磁界の波形は、他の研究者が検証可能なように単純な正弦波を用いました。ばく露に用いた磁界の周波数は、IH調理器で使用する周波数を考慮して20kHzと60kHzとしました。また、磁界の強さは、ラットの研究では20kHzで200マイクロテスラ( $\mu\text{T}$ )、60kHzで100 $\mu\text{T}$ 、鶏胚の研究では20kHzで1100 $\mu\text{T}$ 、60kHzで110 $\mu\text{T}$ で、いずれもばく露装置の最大強度です。これらは、国際非電離放射線防護委員会(ICNIRP)の定

めるばく露ガイドライン値である27 $\mu\text{T}$ より強い磁界です。

ラットの実験では、医薬品や食品添加物の許認可の際に用いられる、人に対する安全性を評価するための標準試験法を参考にしました。また、研究の信頼性を確保するため、奇形などの異常の検査は、被検動物が磁界をばく露しなかった対照グループか、それとも磁界をばく露したグループかを検査員に教えない盲検法で行いました。さらに、結果の再現性を確認するため、同じ実験を繰り返して行いました。

実験結果は、対照グループと磁界ばく露グループを比較し、磁界によって生物に変化が生じたのか、あるいは両グループの差は生物個体のばらつきによる偶然の差なのかを判断する目安として、統計学的な検定を行いました。統計学的な有意差が生じた場合は、その変化が繰り返し実験で再現されているか、他の周波数での実験でも両グループ間で同様の変化になっているのかを調べ、真に磁界の影響であるか否かを判断しました。



図-1 ラット用中間周波磁界ばく露設備

水平な4本のコイルに20kHz、もしくは60kHzの電流を流し、内側の空間に磁界を発生させました。そこに3段の棚を置いてラットの飼育ケージを並べ、動物に磁界をばく露しました。

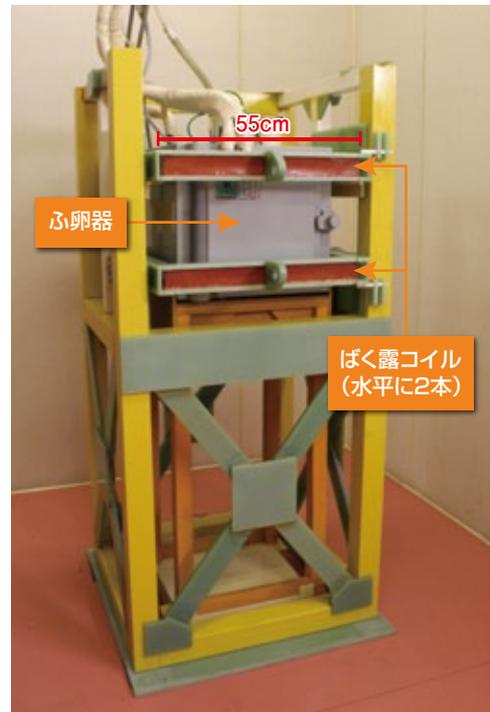


図-2 鶏胚用中間周波磁界ばく露設備

水平な2本のコイルに20kHz、もしくは60kHzの電流を流し、内側の空間に磁界を発生させました。そこにふ卵器を置いて鶏卵を並べ、鶏胚に磁界をばく露しました。



# 2

## ラットへの影響を調べる

### 生殖への影響

磁界の生殖への影響(不妊、流産など)を調べるため、雌雄各24匹のラットから成る24組のつがい(1グループ)として実験を行いました。雌雄ラットに、同居開始2週間前から同居中、そして、交尾した雌ラットは受精卵が着床する妊娠7日まで、毎日22時間、20kHzもしくは60kHzの磁界をばく露し続けました。雌ラットは、ばく露開始から交尾するまで、毎日、性周期を調べました。交尾して受精卵が着床した後は磁界をばく露しない状態で飼育し、妊娠13日に解剖して、妊娠率、着床数、胎児の死亡率、卵巣や子宮の病気などを調べました。雄ラットは、交尾するまでばく露した後解剖し、精子数や精巣の病気などを調べました。

60kHz磁界を用いた2回の実験のうち、1回の実験結果を表-1に例示しました。いずれの実験でも、対照グループとばく露グループの間で、妊娠率や着床前胚死亡率などに若干の違いがありましたが、統計学的に有意な変化はありませんでした。

20kHz磁界においても、2回の繰り返し実験の結果、対照グループと比較して、ばく露グループで不妊や胎児の流産などの異常が有意に増加することはありませんでした。

表-1 交配前から着床まで60kHz磁界にばく露した雌雄ラットの生殖機能の変化

1グループが雌雄ラット各24匹の24つがいから成る実験(1回分)	磁界ばく露なし	磁界ばく露あり
性周期(日)	4.0±0.9*	4.1±0.3*
妊娠雌動物数/ 交尾雌動物数	24/24	22/24
妊娠率(%) (妊娠雌動物数÷交尾雌動物数)×100	100	91.7
雌親当りの黄体数	18.8±3.9*	18.3±3.3*
雌親当りの着床数	14.8±3.4*	15.1±2.9*
雌親当りの着床前胚死亡率(%) (黄体数-着床数)÷黄体数×100	21.3±17.5*	16.6±17.3*
精巣上部尾部当りの精子数(10 <sup>6</sup> 個)	54±25*	52±24*
異常精子率(%)	0.5±0.5*	0.6±0.5*

\*平均値±標準偏差

### 発生への影響

生殖に加え、発生への影響(胎児の死亡や奇形)を調べるため、妊娠している雌ラット25匹を1グループとして実験をしました。妊娠ラットに、受精卵の着床後から出産前まで、すなわち、胎児の器官が形成される時期にあたる妊娠7日から17日まで、毎日22時間、20kHzもしくは60kHzの磁界をばく露し続けました。妊娠17日以降は磁界をばく露しない状態で飼育し、妊娠20日に解剖して、生存胎児数、着床後の胚・胎児死亡率、胎児の性比、体重、外表・内臓・骨格の異常などを調べました。

20kHz磁界を用いた2回の実験のうち、1回の実験結果を表-2に例示しました。いずれの実験でも対照グループとばく露グループの間で、雌親当りの胚・胎児死亡率や異常胎児を持つ雌親数などに若干の違いがありましたが、統計学的に有意な変化はありませんでした。

60kHz磁界においても、2回の繰り返し実験の結果、対照グループと比較して、ばく露グループで胎児の死亡や奇形などの異常が有意に増加することはありませんでした。

表-2 着床から妊娠17日まで20kHz磁界にばく露した妊娠ラットの胎児の変化

1グループが25匹の妊娠ラットから成る実験(1回分)	磁界ばく露なし	磁界ばく露あり
雌親当りの生存胎児数	14.0±1.5*	13.8±1.8*
雌親当りの着床後胚・胎児死亡率(%)	2.7±3.9*	1.9±3.1*
雌親当りの雄胎児率(%)	55.9±14.0*	53.0±15.4*
外表異常胎児を持つ雌親数/ 検査雌親数	1/25	0/25
内臓異常胎児を持つ雌親数/ 検査雌親数	0/25	1/25
骨格異常胎児を持つ雌親数/ 検査雌親数	0/25	0/25

\*平均値±標準偏差



# 3

## 鶏胚への影響を調べる

### 発生への影響

鶏胚の実験では、ラットの実験よりも強い磁界をばく露できる小型のばく露装置を用い、ふ卵前の鶏の有精卵60個を1グループとして実験をしました。有精卵に、ふ卵開始から毎日24時間、20kHzもしくは60kHzの磁界をばく露し続けました。鶏胚がふ化するまでの各発生段階での影響を調べるため、ばく露日数は、初期胚になるまでの2日間、胚の器官が形成される7日間、器官が成長する11日間、さらに成長が進んだふ化直前の19日間の4通りとしました。ばく露終了後に殻を割って胚を摘出し、胚の生死や発達遅延、奇形などを調べました。

60kHz磁界を7日間ばく露した3回の実験結果を、図-3に例示しました。対照グループとばく露グループで死亡や形態異常の胚数に若干の違いがあるものの、ばく露グループで統計学的に有意な増加はありませんでした。

これ以外の磁界条件においても、3回の繰り返し実験の結果、対照グループと比較して、ばく露グループで鶏胚の死亡や発達遅延、奇形などの異常が有意に増加することはありませんでした。

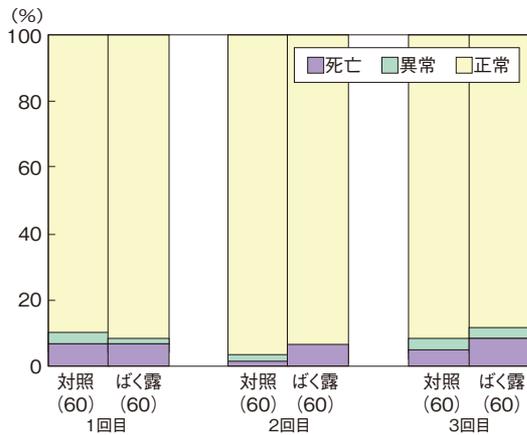


図-3 60kHz磁界に7日間ばく露した鶏胚の死亡と異常 (括弧内は胚数)

# 4

## 今後の取り組み

### 国際機関の指摘

2007年、WHOは100kHz以下の周波数の磁界について、健康影響に関する評価書をまとめました。そこでは、主に商用周波磁界の研究結果をもとに影響が評価され、中間周波磁界については、健康影響を評価するための生物研究が不足していることが指摘されています。以降、日本や韓国でいくつかの生物研究が行われましたが、WHOが新たに中間周波磁界の評価を行うまでには、至っておりません。

### 他の研究機関の研究結果

中間周波磁界について、1990年代に行われた一部の国外の研究では、20kHz、15μT前後の弱い磁界をばく露したマウスの胎児で、奇形が増加したという報告があります。しかし、他の研究者による同様の研究では、その結果に再現性がなかったり、より強い磁界をばく露した動物においても奇形は増加しない、という結果も示されています。

### 当所の研究結果と今後の取り組み

当所の研究では、人に対する安全性を動物実験で評価する際に用いる標準試験法を参考に、ICNIRPのばく露ガイドラインより強い中間周波磁界で、盲検法を用いて繰り返し実験を行いました。その結果、流産や不妊、胎児の奇形を引き起こすような生物影響がある、という結果は得られませんでした。

当所では、今後もIH調理器などで使われる中間周波磁界について、実験動物や人間の細胞を使い、人の健康に関連する発がん性や、発がんに関連する遺伝子レベルの変化などについて、研究を重ねていく予定です。

## ひとこと

環境科学研究所 生物環境領域 上席研究員 西村 泉

わたし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。一方で、これまでの研究から、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、影響が未解明の様々な環境要因について、その健康リスクを生物研究によって科学的に評価するとともに、研究から得られた成果を正しく、かつできるだけわかり易くお伝えしたいと考えています。

