



# 保物セミナー2019

## 電磁波の生体影響 ～国際動向とこれから～

(IARC・リヨン・フランス)



宮越順二  
京都大生存圏研究所

日時： 2019年11月29日（金）  
場所： 大阪科学技術センター

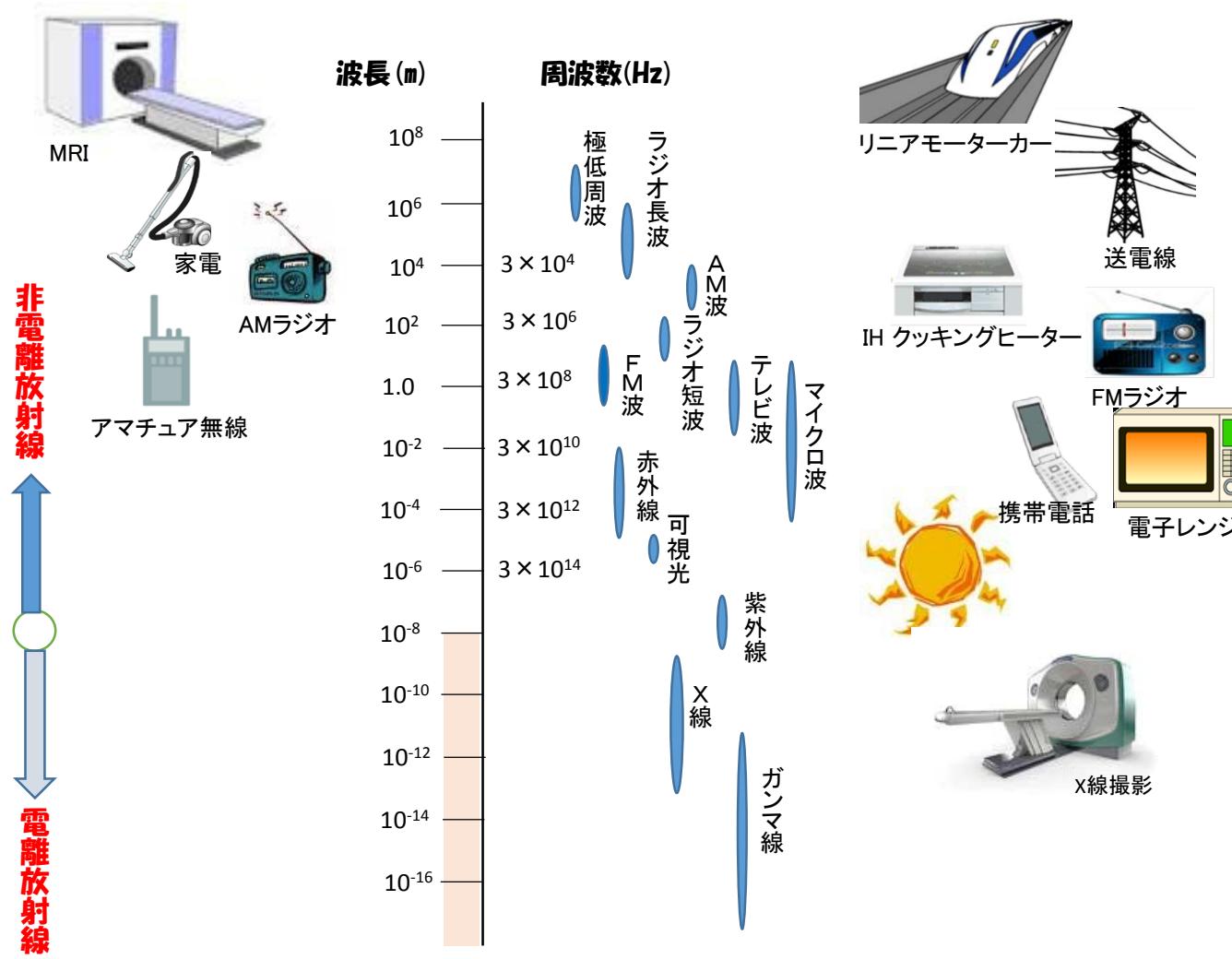
(WHO・ジュネーブ・スイス)



# ～生活環境における電磁波と健康～

現代社会は、目には見えないが生活環境に電磁波があふれている。低周波から中間周波、高周波、超高周波帯のミリ波、テラヘルツに至る多種多様な電磁環境が増加の一途をたどっている。放射線と同様に、非電離の電磁環境は目に見えないこともあり、健康への影響について不安を抱いている人が多いのも事実である。ここでは、生活環境因子としての電波とその健康影響を中心として、国際的な議論も踏まえて紹介する。

# ～生活の中のいろいろな電磁環境～



# ～世界保健機関（WHO）の役割～



**WHO (世界保健機関)  
(World Health Organization)**  
ジュネーブ、スイス

- **国際電磁界プロジェクト(1996年～)  
(International EMF Project)**  
ワークショップの開催や推進すべき研究の提示など

↑  
<環境保健クライテリア(EHC)の策定>  
<モノグラフ刊行>  
発がん以外の健康影響も含めて評価

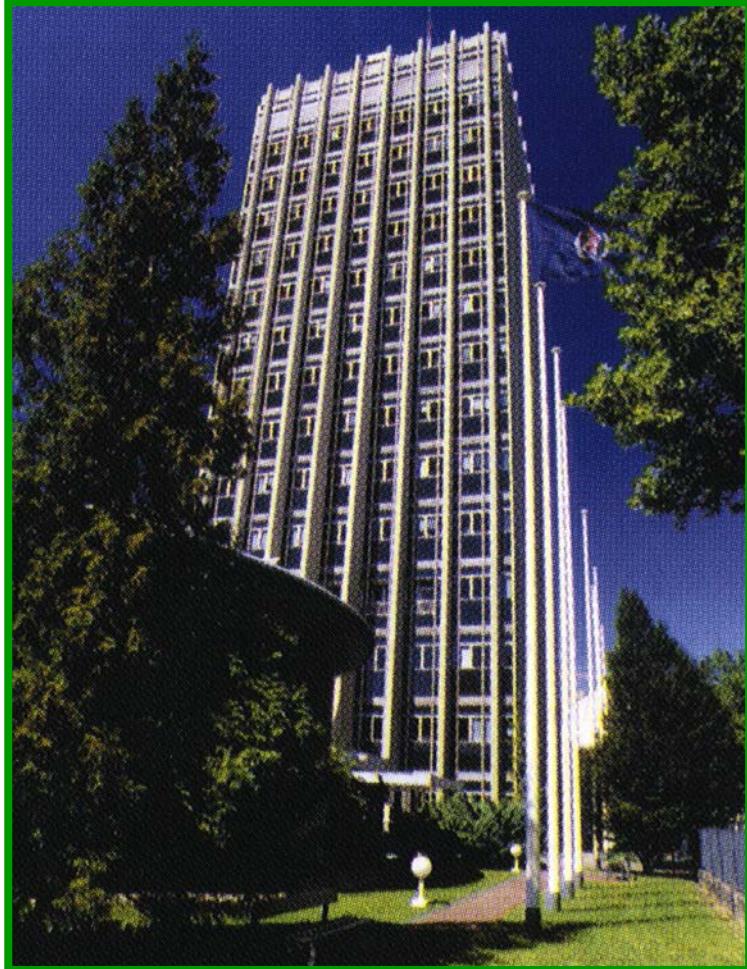


**IARC (国際がん研究機関)  
(International Agency for Research on Cancer)**  
リヨン、フランス  
<発がん性評価>  
<モノグラフ刊行>

# ～極低周波 (ELF) 発がん性評価会議～

〈WHO-IARC本部 (リヨン、フランス) 〉

～Working group 4の編集作業風景～  
(Room: Sasakawa Hall B)



左から、Sounders 教授(イギリス)、宮越(日本)、  
Juutilainen教授(フィンランド)Blackman 教授(アメリカ)、  
Anderson 教授(アメリカ)

(会議日程： 2001年6月19日～26日)

# ～WHO-ELF環境保健クライテリア(EHC)の策定会議～

世界保健機関 (WHO) の本館 (Main Building)  
(ジュネーブ、スイス)



WHO本部の中庭からの風景

ELF (極低周波) – EHC (環境保健基準)  
タスクグループ会議  
～第4グループメンバーとオブザーバー～



左から、メンバーのMetcalfe教授（イギリス）、  
Mevissen教授（スイス）、宮越（日本）、  
Juutilainen教授（フィンランド）、  
オブザーバーのPlante氏（カナダ）

2005年10月3～7日 WHO本部、ジュネーブ、スイス

# ～電磁波の安全性を評価するための 主な研究分類～



## ○疫学研究：

ヒトを対象とした、目的の因子と健康(主に発がん)の調査



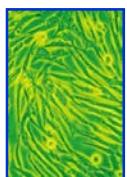
## ○人体影響：

ヒトのボランティアを対象とした影響評価研究



## ○動物研究：

目的の因子による健康影響評価のための動物実験



## ○細胞研究：

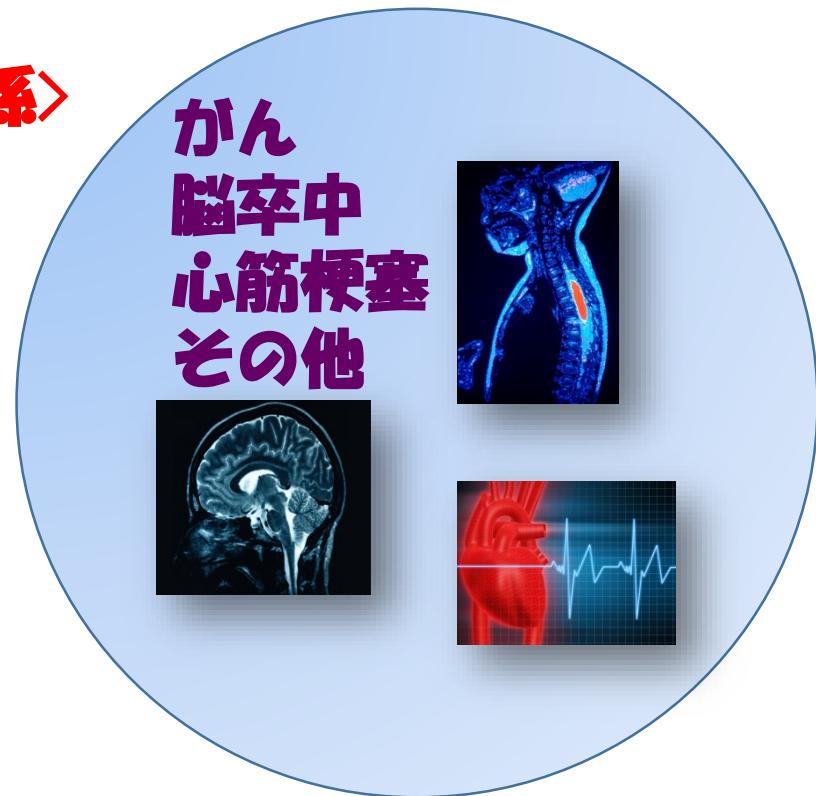
目的の因子による健康影響評価のための細胞実験

# ～電磁波生体影響を評価する主な研究内容～

研究分類	対象	研究内容
細胞実験研究	細胞	細胞増殖、DNA合成、染色体異常、姉妹染色分体異常、小核形成、DNA鎖切断、遺伝子発現、シグナル伝達、イオンチャネル、突然変異、トランスフォーメーション、細胞分化誘導、細胞周期、アポトーシス、免疫応答など
動物実験研究	実験動物 (ラット、マウスなど)	発がん(リンパ腫、白血病、脳腫瘍、皮膚がん、乳腺腫瘍、肝臓がんなど)、生殖や発育(着床率、胎仔体重、奇形発生など)、行動異常、メラトニンを主とした神経内分泌、免疫機能、血液脳関門(BBB)など
疫学研究	ヒト	発がんやがん死亡(脳腫瘍、小児および成人白血病、乳がん、メラノーマ、リンパ腫など)、生殖能力、自然流産、アルツハイマー病、パーキンソン病など
人体影響	ヒト	心理的・生理的影響(疲労、頭痛、不安感、睡眠不足、脳波、心電図、記憶力など)、メラトニンを主とした神経内分泌、免疫機能など

# ～疫学研究とは～

社会生活を営んでいるヒトを集団として対象とし、  
ある因子の健康への影響について調査する



\*ヒトを対象としている点で優れているが、生活するヒト  
は均一でなく、影響評価を左右する多くの因子に最大の注  
意を払わねばならない。

# ～生物学的研究とは～

(動物実験)



個体  
器官  
組織

} の影響を検証  
できる。

(細胞実験)



細胞全体  
遺伝子 (DNA)  
細胞膜など



メカニズムの解明  
が可能である。

} の影響を検証  
できる。

# 〈電磁環境生体影響評価研究の分類と特徴〉

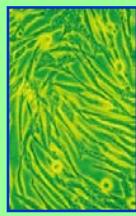
## (ヒトへの影響評価)



(ヒト) (高)

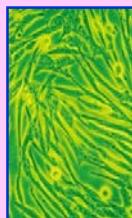


(動物)



(細胞) (低)

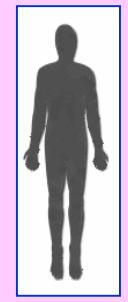
## (実験条件や環境 (精度) )



(細胞) (高)

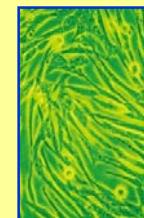


(動物)



(ヒト) (低)

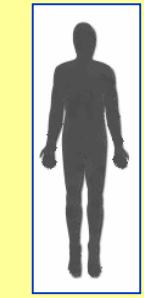
## (研究期間)



(細胞) (短)  
(~5年)



(動物)  
(5~10  
年)



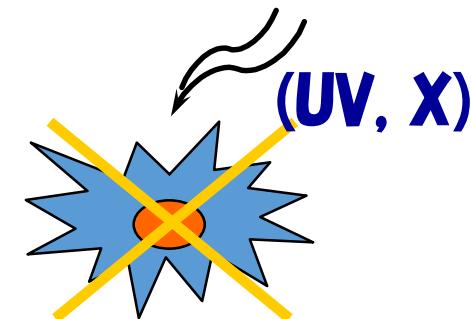
(ヒト)  
(10年以上~)  
(長)

# ～電磁波は細胞を傷つけるか？～

○極めて周波数の高い紫外線や放射線（X線、ガンマ線）



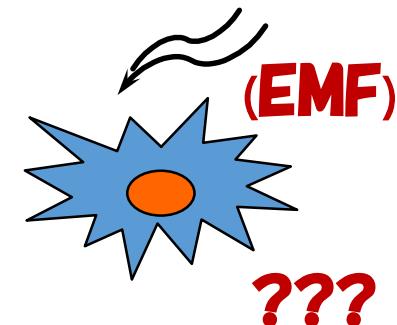
細胞を傷つけることが知られている！



○周波数の低い低周波や高周波、超高周波の電磁波



???



# ～生体に対する強い電磁波の作用～

(これまで知られていること)

低周波



刺激作用

高周波



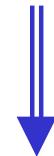
熱作用

# ～人工的な高周波電磁波の応用～

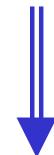


がん温熱治療装置 サーモトロン-RF8

Thermotron-RF8,Hyperthermia cancer treatment system



## 人体への熱作用



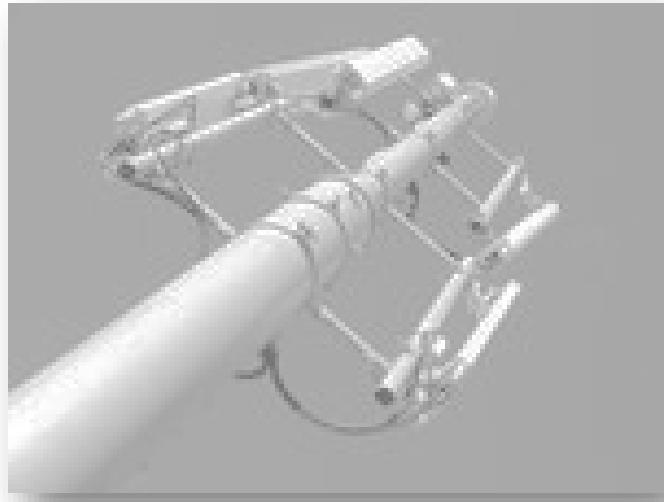
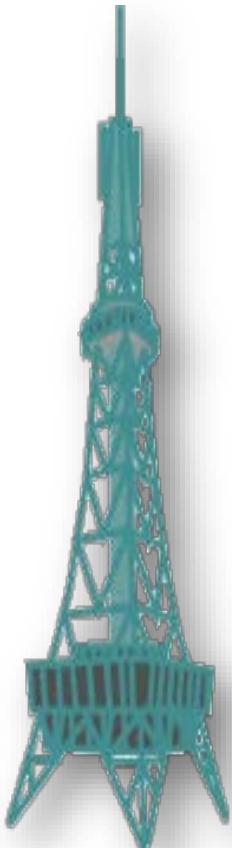
## 医療応用



(理学療法の一例)

(がんの温熱療法、神経痛、リュウマチ治療など)

近年、マイクロ波を用いた乳がん診断（断層イメージングシステム）への応用が大きく注目を浴びている。（神戸大学など）



# ～携帯電話や基地局からの 電波の生体影響評価～



# ～高周波電波の健康影響への危惧～

- 1990年代後半より国際的に高まる。
- 國際的な携帯電話の急速な普及による。
- ヒトの脳に極めて近づけて使用する。加えて全国各地に点在する基地局も存在する。
- 電波による発がんを恐れる。
- 極低周波(ELF)と同じく、非電離放射線に分類される。
- 若年者（子供）への影響が特に問題視されている。

など

# ～IARC-電波の発がん性評価会議～

International Agency for Research on Cancer



World Health  
Organization

*IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*

Volume 102: Non-Ionizing Radiation, Part II: Radiofrequency  
Electromagnetic Fields [includes mobile telephones, microwaves, and radar]

Lyon, May, 24-31 2011

国際がん研究機関 (IARC) のヒトへの発がん性評価モノグラフ

第102巻：非電離放射線(Part II):  
<高周波(Radiofrequency)電磁波>

2011年5月24日～31日(リヨン、フランス)

# ～IARC発がん性評価作業部会参加専門家リスト～ (15ヶ国、30人)



## Members

Bruce Armstrong (Australia)

Malcolm Sim (Australia)

Luc Verschaeve (Belgium)

Etienne Degrave (Belgium)

James McNamee (Canada)

Jack Siemiatycki (Canada)

Jukka Juutilainen (Finland)

Dariusz Leszczynski (Finland)

René de Seze (France)

Jean-François Doré (France)

Maria Blettner (Germany)

Clemens Dasenbrock (Germany)

**Tomoyuki Shirai (Japan)**

**Junji Miyakoshi (Japan)**

Nam Kim (Korea)

Stanislaw Szmigelski (Poland)

Igor Y. Belyaev (Slovak Republic)

Elisabeth Cardis (Spain)

Lennart Hardell (Sweden)

Meike Mevissen (Switzerland)

Simon Mann (United Kingdom)

**Jonathan M. Samet (USA) (Overall Chair)**

Carl F. Blackman (USA)

Peter D. Inskip (USA)

David L. McCormick (USA)

Ronald Melnick (USA)

Christopher J. Portier (USA)

David B. Richardson (USA)

Martin Röösli (USA)

Vijayalaxmi (USA)

# ～IARCの発がん性評価の意味～

IARC(国際がん研究機関)の発がん性評価は、対象となる作用因子(物理的因子、化学的因子、特殊な環境的因子など)による発がんの性質の程度を定性的にグレード別に分類するものであり、定量的(発がん性の強さ(ハザード))評価をするものではない。

## ～疫学研究の評価（その1）～ 携帯電話使用と神経膠腫 (Glioma)

1. インターホン国際共同研究 (The INTERPHONE study):
  - 症例-対照研究での通話時間: 最長群(>1640時間)において、ORは1.40 (95%CI; 1.03—1.89)
2. スウェーデン研究のプール分析:
  - 症例-対照研究での使用時間: 最長群(>2000時間)において、ORは3.2 (95%CI; 2.0—5.1)

## ～疫学研究の評価（その2）～ 携帯電話使用と聴神経鞘腫 (acoustic neuroma)

1. インターホン研究 (The INTERPHONE study):
    - グリオーマの結果とほぼ同様の傾向(通話期間が最大5年に渡り、通話時間最長群(>1640時間)においてのみ、聴神経鞘腫の有意な増加)を示している。
  2. スウェーデン研究のプール分析:
    - グリオーマの結果とほぼ同じ。長期携帯電話使用者の聴神経鞘腫が増加している。
  3. 日本の疫学研究:
    - 携帯電話使用と同側において、聴神経鞘腫の増加を示している。
- ◎ これらの結果は、バイアス\*の可能性を完全には排除できないが、RFばく露と神経膠腫の因果関係を示唆している。

\*バイアス: 電波以外の影響による効果

# ～疫学研究の評価（その3）～

## 〈携帯電話使用とその他の腫瘍〉

髓膜腫 (meningioma), 耳下腺腫瘍 (parotid-gland tumours),  
白血病 (leukemia), リンパ腫 (Lymphoma), その他の腫瘍については、  
携帯電話使用との因果関係を示す証拠は “不十分” であると判断した。

## 〈職業ばく露と発がん性〉

職業的なRFばく露と脳腫瘍、白血病、リンパ腫、目の黒色腫 (uveal melanoma) および精巣 (testis) がん、乳 (breast) がん、肺 (lung) がん、皮膚 (skin) がんについても、方法論的限界 (ばく露評価、交絡因子など) により、RFばく露との因果関係を示すには “不十分” であると判断した。

## 〈環境ばく露 (ラジオ、テレビ、基地局などからの電波) と発がん性〉

証拠は “不十分” であると判断した。

## ～疫学研究の評価（その4）～

これまでの疫学研究結果を総合すると、一部の“陽性結果”を判断材料の基礎として、ワーキンググループは、

「限定的証拠(Limited evidence in humans)」と評価した。

なお、ワーキンググループの数人のメンバーからは、ヒトにおける発がん性の証拠は「不十分(insufficient)」であるとの意見も出された。



## ～実験動物研究の評価（その1）～

複合的発がん研究（Co-carcinogenesis studies）では、6件中（陽性4件：陰性2件）、4件(ENU, MX, BPとの複合)\*において発がんの増加が報告されており、ワーキンググループはRFばく露と発がんの因果関係を支持する証拠とした。

- ENU: **N-ethylnitrosourea**
- MX: **3-chloro-4-(dichloro methyl)-5-hydroxy-2(5H)-furanone**
- BP: **benzo(a)pyrene**

## ～実験動物研究の評価（その2）～

これまでの実験動物研究の結果を総合すると、陰性の結果が多いものの、一部の複合的発がん研究の“陽性結果”は発がんの証拠として認められ、ワーキンググループは、「限定的証拠(Limited evidence in experimental animals」と評価した。

# ～ヒト(疫学を除く)、動物(発がんを除く)、 および細胞研究の評価～

遺伝毒性(ヒト、動物、ヒト細胞、動物細胞、ショウジョウバエ、大腸菌など)、突然変異、免疫機能、遺伝子発現(RNA、タンパク)、細胞情報伝達、酸化ストレス、アポトーシス、増殖能力、血液脳関門(BBB)など、数百編の論文を精査した。一部の論文で“陽性”を示す結果があるものの、ワーキンググループの総合的判断として、「発がんメカニズムについては、弱い証拠(Weak mechanistic evidence)」として評価した。

# ～IARCによる発がん性の分類基準～

## 発がん性の分類及び主な分類基準

<b>グループ1：発がん性がある (Carcinogenic to humans)</b>	ヒトへの発がん性を示す十分な証拠がある場合に用いる
<b>グループ2A：おそらく発がん性がある (Probably carcinogenic to humans )</b>	ヒトへの発がん性を示す証拠は限定的であるが、動物への発がん性に対して十分な証拠がある場合に用いる
<b>グループ2B：発がん性があるかもしれない (Possibly Carcinogenic to humans )</b>	ヒトへの発がん性を示す証拠が限定的であり、動物実験での発がん性に対して十分な証拠が無い場合に用いる
<b>グループ3：発がん性を分類できない (Unclassifiable as to carcinogenicity to humans )</b>	ヒトへの発がん性を示す証拠が不十分であり、動物実験での発がん性に対しても十分な証拠が無い場合に用いる
<b>グループ4：おそらく発がん性はない (Probably not carcinogenic to humans )</b>	ヒト及び動物実験において発がん性が無いことを示唆する証拠がある場合に用いる

## ～IARCのRF電磁波発がん性一総合評価～

ヒトの疫学研究および実験動物の発がん研究について、それぞれ「限定的証拠」と評価した。細胞研究などの「メカニズムとしての弱い証拠」も含めて、ワーキンググループのRF発がん性総合評価は、

「グループ2B(*Possibly carcinogenic to humans*)」(発がん性があるかもしれない)と決定した。

なお、この評価結果は大多数のワーキンググループメンバーより支持されたものである。

# ～IARCによる発がん性の分類とその主な例～

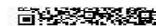
発がん性の分類及び分類基準	既存分類結果 [1014例]
グループ1:発がん性がある (Carcinogenic to humans)	<p>電離放射線、紫外線(100~400nm)、アスベスト、カドミウムおよびカドミウム化合物、ホルムアルデヒド、太陽光曝露、喫煙、アルコール飲料、コールタール、ディーゼルエンジンの排気ガス、妥動喫煙、ベンゾピレン、紫外線を用いた日焼け用ランプ、加工肉、粒子状物質 など</p> <p>[他を含む120例]</p>
グループ2A:おそらく発がん性がある (Probably carcinogenic to humans)	<p>アクリルアミド、熱いマテ茶、日内リスムを乱す交代制動薬、メタシスルホン酸メチル、ポリ塩化ビフェニル、木材などのバイオマス燃料の室内燃焼、赤肉(牛、豚、羊、などの肉)シスプラチン など</p> <p>[他を含む82例]</p>
グループ2B:発がん性があるかもしれない (Possibly Carcinogenic to humans)	<p>極低周波(ELF)磁界、高周波 (RF) 電磁波、アセトアルデヒド、AF-2、フレオマイシン、クロロホルム、ダウノマイシン、船、メルファラン、メチル水銀化合物、マイトイシンC、フェノバルビタール、漬物、ガソリン、ベンスアントラゼン など</p> <p>[他を含む311例]</p>
グループ3:発がん性を分類できない (Unclassifiable as to carcinogenicity to humans)	<p>静磁界、静電界、極低周波電界、コーヒー、茶、アクチノマイシンD、原油、軽油、カフェイン、ベンゾ(e)ピレン、コレステロール、ジアゼパム、蛍光灯、エチレン、水銀、塩化メチル、フェノール、トルエン、キシレン など</p> <p>[他を含む500例]</p>
グループ4:おそらく発がん性はない (Probably not carcinogenic to humans)	<p>カブロラクタム(ナイロンの原料)</p> <p>[1例]</p>

(2019年7月5日現在)

# ＜最近の話題＞

## ＜米国の動物実験研究＞～NTP Studyについて～

### NIEHS(米国立環境衛生科学研究所)の最終報告： 報道発表 2018年11月1日



(<https://www.niehs.nih.gov>)

#### High Exposure to Radio Frequency Radiation Associated With Cancer Rats

##### News Release

###### FOR IMMEDIATE RELEASE

Thursday, November 1, 2018, 10:00 a.m. EDT

Contact: [Virginia Guidry](mailto:virginia.guidry@niehs.nih.gov) (<mailto:virginia.guidry@niehs.nih.gov>),  
NIEHS  
919-541-1993

##### National Toxicology Program releases final reports on rat and mouse studies of radio frequency radiation like that used in 2G and 3G cell phone technologies

The National Toxicology Program (NTP) concluded there is clear evidence that male rats exposed to high levels of radio frequency radiation (RFR) like that used in 2G and 3G cell phones developed cancerous heart tumors, according to final reports released today. There was also some evidence of tumors in the brain and adrenal gland of exposed male rats. For female rats, and male and female mice, the evidence was equivocal as to whether cancers observed were associated with exposure to RFR. The final reports represent the consensus of NTP and a panel of external scientific experts who reviewed the studies in March after draft reports were issued in February.

Audio Recording of Telephone Press Conference  
October 31, 2018

###### Transcript

([/news/newsroom/releases/2018/november1/11012018transcript\\_508.pdf](/news/newsroom/releases/2018/november1/11012018transcript_508.pdf),  
(151KB)

- [NTP Cell Phone Study Page](https://ntp.niehs.nih.gov/results/areas/cellphones/index.html) (<https://ntp.niehs.nih.gov/results/areas/cellphones/index.html>)
- [Fact Sheet](/health/materials/cell_phone_radiofrequency_radiation_studies_508.pdf) ([/health/materials/cell\\_phone\\_radiofrequency\\_radiation\\_studies\\_508.pdf](/health/materials/cell_phone_radiofrequency_radiation_studies_508.pdf),  
(1MB))
- [Final Rat Study Report](https://www.niehs.nih.gov/ntp-temp/tr595_508.pdf) ([https://www.niehs.nih.gov/ntp-temp/tr595\\_508.pdf](https://www.niehs.nih.gov/ntp-temp/tr595_508.pdf))
- [Final Mouse Study Report](https://www.niehs.nih.gov/ntp-temp/tr596_508.pdf) ([https://www.niehs.nih.gov/ntp-temp/tr596\\_508.pdf](https://www.niehs.nih.gov/ntp-temp/tr596_508.pdf))

(<https://www.nih.gov/news-events/news-releases/high-exposure-radiofrequency-radiation-linked-tumor-activity-male-rats>).

## 〈実験の材料と方法〉～研究内容（抜粋）

- ◎ 電波ばく露: **CDMA, GSM, 1900MHz (マウス), 900MHz (ラット)**
- ◎ 動物: **ラット, マウス (実験ポイント1群, 各90匹)**
- ◎ ばく露方法: **全身ばく露, 1, 1.5, 3, 6W/kg, 10分ON/OFF (~9時間), 毎日, 107週間**

# ＜結果～その1：脳腫瘍～＞

## 脳腫瘍：ばく露によりオスのラットで増加している。 (GSMではすべてのはく露、CDMAでは6W/kgのみ)

### Pathology findings – Brain

#### Hyperplastic Brain Lesions in Male Rats

	Control	GSM Modulation			CDMA Modulation		
	0 W/kg	1.5 W/kg	3.0 W/kg	6.0 W/kg	1.5 W/kg	3.0 W/kg	6.0 W/kg
Number examined	90	90	90	90	90	90	90
Malignant glioma <sup>‡</sup>	0*	3 (3.3%)	3 (3.3%)	2 (2.2%)	0	0	3 (3.3%)
Glial cell hyperplasia	0	2 (2.2%)	3 (3.3%)	1 (1.1%)	2 (2.2%)	0	2 (2.2%)

<sup>‡</sup> Historical control incidence in NTP studies: 11/550 (2.0%), range 0-8%

\* Significant SAR-dependent trend for CDMA exposures by poly-6 ( $p < 0.05$ )

### Pathology findings – Brain

#### Hyperplastic Brain Lesions in Female Rats

	Control	GSM Modulation			CDMA Modulation		
	0 W/kg	1.5 W/kg	3.0 W/kg	6.0 W/kg	1.5 W/kg	3.0 W/kg	6.0 W/kg
Number examined	90	90	90	90	90	90	90
Malignant glioma <sup>‡</sup>	0	0	0	1 (1.1%)	2 (2.2%)	0	0
Glial cell hyperplasia	0	0	1 (1.1%)	0	1 (1.1%)	1 (1.1%)	1 (1.1%)

<sup>‡</sup> Historical control incidence in NTP studies: 2/340 (0.3%), range 0-2%

• No exposure-related change in the incidence of brain lesions in female rats

# ＜結果～その2-1：心臓シュワンノーマ～＞

- 心臓シュワンノーマ：SAR依存的(～6W/kg)に、オスのラットにおいて、GSM,CDMAとともに増加している。(心臓シュワンノーマ：心臓原発性の神経鞘腫、シュワン細胞の腫瘍)

## Pathology findings – Heart

### Hyperplastic Heart Lesions in Male Rats

	Control	GSM Modulation			CDMA Modulation		
	0 W/kg	1.5 W/kg	3.0 W/kg	6.0 W/kg	1.5 W/kg	3.0 W/kg	6.0 W/kg
Number examined	90	90	90	90	90	90	90
Schwannoma <sup>‡</sup>	0*	2 (2.2%)	1 (1.1%)	5 (5.5%)	2 (2.2%)	3 (3.3%)	6** (6.6%)
Schwann cell hyperplasia	0	1 (1.1%)	0	0	0	0	3 (3.3%)

‡ Historical control incidence in NTP studies: 9/699 (1.3%), range 0-6%

\* Significant SAR-dependent trend for GSM and CDMA exposures by poly-3 ( $p < 0.05$ )

\*\* Significant different than controls poly-3 ( $p < 0.05$ )

## Pathology findings – Schwannomas

### Schwannomas Observed in Male Rats

	Control	GSM Modulation			CDMA Modulation		
	0 W/kg	1.5 W/kg	3.0 W/kg	6.0 W/kg	1.5 W/kg	3.0 W/kg	6.0 W/kg
Number examined	90	90	90	90	90	90	90
Heart <sup>‡</sup>	0*	2 (2.2%)	1 (1.1%)	5 (5.5%)	2 (2.2%)	3 (3.3%)	6** (6.6%)
Other sites	3 (3.3%)	1 (1.1%)	4 (4.4%)	2 (2.2%)	2 (2.2%)	1 (1.1%)	2 (2.2%)
All sites (total)	3 (3.3%)	3 (3.3%)	5 (5.5%)	7 (7.7%)	4 (4.4%)	4 (4.4%)	7 (7.7%)

‡ Historical control incidence in NTP studies: 9/699 (1.3%), range 0-6%

\* Significant SAR-dependent trend for GSM and CDMA exposures by poly-3 ( $p < 0.05$ )

\*\* Significant different than controls poly-3 ( $p < 0.05$ )

# ～NTPファクトシート (2018. 11.1)～

## ＜研究成果概要＞

1. 電波ばく露による雄ラットにおける心臓腫瘍の発症については明確な証拠がある。
2. 電波ばく露による雄ラットにおける脳および副腎の腫瘍発症については”何らかの(some)証拠があった。
3. 電波ばく露による雌ラットならびに雌雄マウスにおけるがんとの関連については、曖昧な(equivocal)証拠であった。



### Cell Phone Radio Frequency Radiation Studies

Cell phones are used by 95% of American adults.<sup>1</sup> Given the large number of users, any harmful effects associated with cell phone use could be a significant public health concern.

Cell phones use radio frequency radiation (RFR) to transmit signals. The U.S. Food and Drug Administration (FDA) nominated RFR for study by the National Toxicology Program (NTP), due to widespread human exposure and limited information about the potential health effects of long-term use of cell phones.



# ＜研究結果発表の意義＞

- 研究内容が公衆やメディアから高く注目されている。
- これまでの一部の疫学研究結果(携帯電話使用と脳腫瘍発生)と一致している。
- IARCOの(発がん性)評価結果を支持している。

# ～過去、現在、そして、将来に向けての 細胞実験電磁波影響研究の長期的戦略～

# ＜過去20年程度(1990年代後半～現在)の 高周波帯域における細胞研究＞

“ほとんどの研究は発がんとの関与を評価する指標”

(主な指標)

- |  |  |
|--|--|
| <b>遺伝毒性 :</b><br><b>(Genotoxic)</b>      | <b>染色体異常、小核形成、DNA鎖切断、<br/>突然変異など</b>                               |
| <b>非遗伝毒性 :</b><br><b>(Non-genotoxic)</b> | <b>細胞増殖、DNA合成、細胞周期、<br/>遺伝子発現 (特にHSP)、シグナル伝達、<br/>アポトーシス、免疫能など</b> |

# 〈高周波帯域におけるこれまでの研究成果まとめと、そこから見えるもの〉

## (まとめ)

“遺伝毒性、非遗伝毒性とともに、一部の論文で陽性の結果を示す報告はあるものの(特に、機能的変化としてのストレスタンパク発現増加)、多くは、非熱的条件下においては、ネガティブであった。

## (IARCの評価)

発がんメカニズムについては、弱い証拠(Weak mechanistic evidence)と評価した。

## (結果から見えるもの)

非熱的条件下で、DNA損傷を引き起こすことはほぼ考えられないが、タンパク発現のような機能的影響については、現在までのところ完全に否定することはできない。

# 〈中長期的(5年間、5～10年間、10～20年間) な細胞(遺伝子)研究の方向性〉 (その1)

## 1. 現在～5年間

- これまでの細胞(遺伝子)研究の流れをほぼ継続した領域での指標を用いた研究と考えられる。新しい周波数帯の電波（5Gや中間周波数帯など）が生活環境に汎用化されることになれば、特に発がん性への影響を主体として、実施する必要がある。
- これまでの主な研究対象となってきた、4Gまでの周波数帯においては、エピジェネティック（いわゆるDNAの直接損傷を伴わない）な発がん性への影響の有無を検証する必要がある。

# 〈中長期的(5年間、5~10年間、10~20年間) な細胞(遺伝子)研究の方向性〉 (その2)

## 2. 5~10年間

- 全細胞 (Whole cell)を対象とした研究から、その主体的流れは遺伝子レベルへ移行する期間と考えられる。
- がんの発症率は大きく変化しないが、がんの治癒率は現在（5年生存率：約70%、10年生存率：約60%）よりさらに改善されることが予想される。むしろ、難病としての、多くの人々の健康についての関心事は、発がんに加えて、神経変性疾患（アルツハイマー病、パーキンソン病など）となるであろう。また、これら疾患の細胞や遺伝子レベルの機構解析も急速に進むと考えられ、健康影響としての細胞・遺伝子研究が、がんと共に神経変性疾患も大きな割合を占める可能性がある。脳に関しては、他臓器からの情報伝達分子が血液脳閂門(BBB)を通過できるかできないかで、かなり制御されている。（例えば、すい臓のインスリンは通れるが、認知症治療薬（アミロイド $\beta$ 減少薬）は通れない。）記憶分野で、海馬の神経細胞の新生能にも関与するので、10年以上も前に問題提起された「電波のBBB機能への影響」が再燃する可能性もある。そこで、現在と比べて、このころには、iPS細胞の確立や応用についてもかなり確立したものとなり、生体影響分野の細胞（遺伝子）研究に使用できる可能性が高くなるであろう。

# 〈中長期的(5年間、5~10年間、10~20年間)な細胞(遺伝子)研究の方向性〉(その3)

## 3. 10~20年間

○ 21世紀に入って以来、生命科学の目覚ましい発展が続いている。現在からさらに10年以降について考えた場合、これまで未解明であった多くの難病の発症メカニズムや治療法、関与する遺伝子とその役割など、かなり解明が進んでいるものと予想される。つまり、ヒトの疫学研究や動物実験研究と比較して、細胞や遺伝子レベルの研究の重みがさらに増していくと考えられる。研究の方向性としても、電波がこれら難病と関与している遺伝子への影響の有無など、より精度の高い評価が求められるであろう。

# 〈電磁環境の生体影響評価における細胞(遺伝子) 研究のロードマップ〉(まとめ)

年代	1990年後半～現在	現在	現在～5年後	5年～10年後	10年～20年後
対象周波数帯	数100MHz～数GHz		数GHz 超高周波 (ミリ波、テラヘルツ) 中間周波 (数100kHz)	数GHz 超高周波 (ミリ波、テラヘルツ) 中間周波 (数100kHz)	数GHz 超高周波 (ミリ波、テラヘルツ) 中間周波 (数100kHz) (+ $\alpha$ ??)
対象疾患と細胞研究の主な指標	<ul style="list-style-type: none"> <li>○がん</li> <li>○遺伝毒性試験 染色体異常、小核形成、DNA鎖切断、突然変異など</li> <li>○非遺伝毒性試験 細胞増殖、DNA合成、細胞周期、遺伝子発現 (特にHSP)、シグナル伝達、アポトーシス、免疫能など</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>○がん</li> <li>○遺伝毒性試験 染色体異常、小核形成、DNA鎖切断、突然変異など</li> <li>○非遺伝毒性試験 細胞増殖、DNA合成、細胞周期、遺伝子発現 (特にHSP)、シグナル伝達、アポトーシス、免疫能など</li> <li>○エピジェネティクスの発がん性評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○がん</li> <li>○神経変性疾患</li> <li>○遺伝毒性試験 染色体異常、小核形成、DNA鎖切断、突然変異など</li> <li>○非遺伝毒性試験 細胞増殖、DNA合成、細胞周期、遺伝子発現 (特にHSP)、シグナル伝達、アポトーシス、免疫能など</li> <li>○対象疾患に関与する遺伝子への影響研究</li> <li>○対象疾患に関与する情報伝達分子への影響研究 ↓</li> <li>○iPS細胞の利用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○がん</li> <li>○神経変性疾患</li> <li>○新しい難病 (?!)</li> <li>○疫学や動物研究で解析不可能な遺伝子解析やiPS細胞の利用が評価研究の主体となる</li> </ul>

# ～これからの生体影響研究（その1）～

## ～新しい電波利用技術に対する評価研究の観点から～

- **超高周波**（数GHz～ミリ波、テラヘルツ）  
(例：将来の第5世代の高周波化)
- **ワイヤレス給電**と関連した中間周波数帯や超高周波電波

上記の周波数帯は、これまでに行われた生体影響評価研究が少なく、このような電磁波帯領域が生活環境で汎用となるには、健康に関係する研究の推進が重要である。

# ～これからの生体影響研究（その2）～

## 一影響評価方法の観点から一

- 現代は多種多様な電波環境・利用の社会となり、電波影響に関する疫学研究は重要であるが、新しい周波数帯の評価は、疫学研究の限界ではないかと考えられる。
- 生命科学において、ヒトゲノム解析が急速に進展し、さらに電波ばく露評価も高精度で行えることから、細胞・遺伝子レベルでの研究推進が、より精度の高い評価を可能とすると考えられる。

# ～健康への影響評価と研究のまとめ～

- これまでの国際的評価で、携帯電話や基地局からの電波で人の健康に重篤な影響を及ぼしているとは考えにくい。
- IARCの発がん性評価で、限定的と結論付けたポジティブ研究については、再現実験の必要性もあるが、これから作成されるRF-EHCの研究推奨が大きな参考となる。
- 電磁過敏症（自覚的）については、科学的証明はないが、症状を訴える人々がいるのは事実である。／セボ効果（不安感からの症状）の可能性も含めて、重篤な人については、感受性遺伝子の検索研究も1つの方法であると考えられる。

