

# 電波の人体に及ぼす影響と安全性 ～ 電波防護指針の考え方と根拠，検証 ～

日時 平成28年10月12日（水）

場所 山口大学 工学部 D11教室(山口県宇部市)

藤原 修（電気通信大学 / 名古屋工業大学）

- ✓プロローグ
- ✓EMCとは
- ✓電磁波と人体影響
- ✓人体防護基準
- ✓基準根拠の明確化
- ✓基準根拠の検証
- ✓エピローグ

# キーワード

電子情報通信学会編：改訂 電子情報通信用語辞典，コロナ社，1999 改訂版第1刷発行

- **電磁環境**  
電磁現象の存在する空間（環境）
- **電磁エネルギー**  
仕事をしうる能力で[J(ジュール)]で表す。
- **電力**  
単位時間あたりの電磁エネルギーで[W]で表す。電磁エネルギー＝電力×時間。
- **EMC, ElectroMagnetic Compatibility（電磁両立性，電磁適合性）**  
電磁環境において電気電子装置が満足に機能し，不要な電磁エネルギーを放出しない能力
- **エミッション(Emission)**  
電気電子装置が電磁エネルギーを放出する現象
- **イミュニティ(Immunity)**  
電磁妨害に対して電気電子装置が正常に機能する耐力
- **電場（電界）**  
単位正電荷に働く電気力が存在する空間，またはその電気力で[V(ボルト)/m]で表す。
- **磁場（磁界）**  
単位正磁荷に働く磁気力が存在する空間，またはその磁気力で[A(アンペア)/m]で表す。
- **電磁場（電磁界）**  
電気力と磁気力が働く空間。
- **電磁波**  
電場，磁場の振動が伝播する波動。
- **周波数**  
単位時間あたりの振動数，繰り返し周期（一定時間）の数で[Hz(ヘルツ)]で表す。
- **波長**  
波動のもつ周期的な長さ（距離）。波長×周波数＝電磁波の速度（光速）
- **電波**  
電磁波のうち光よりも波長の長い（周波数の低い）電磁波をいう。
- **電力密度**  
電磁波の伝播方向に垂直な単位面積を通して運ばれる電力。[W(ワット)/m<sup>2</sup>]で表す。
- **電流密度**  
電流の流れる方向に垂直な単位面積を通して流れる電流。[A/m<sup>2</sup>]で表す。
- **SAR, Specific Absorption Rate（比吸収率）**  
電波を受けた生体組織の(比重を1とした)単位質量あたりに吸収される電力。[W/kg]で表す。
- **Dosimetry（ドシメトリ）**  
電磁界にばく露されたヒトまたは動物の体内電界強度，誘導電流密度，エネルギー吸収量を測定，または計算によって決定することをいう。

# 電波の人体に及ぼす影響と安全性 ～ 電波防護指針の考え方と根拠，検証 ～

日時 平成28年10月12日（水）

場所 山口大学 工学部 D11教室(山口県宇部市)

藤原 修（電気通信大学 / 名古屋工業大学）

- ✓プロローグ
- ✓EMCとは
- ✓電磁波と人体影響
- ✓人体防護基準
- ✓基準根拠の明確化
- ✓基準根拠の検証
- ✓エピローグ

## プロローグ：米国におけるEMCの歴史

### EMC/電磁両立性（電磁適合性）

### ElectroMagnetic C Compatibility

- IRE(Institute of Radio Engineers, IEEEの前身)において「無線障害に関する専門家グループ」の設立が承認.
- **1957-10** 第1回目の会合(現在のIEEE EMC Society)
- **2007-07** 50<sup>th</sup> Anniversary of the EMC Society

**IEEE 50周年：IEEE International Symposium on EMC in Hawaii, July 7-13, 2007**

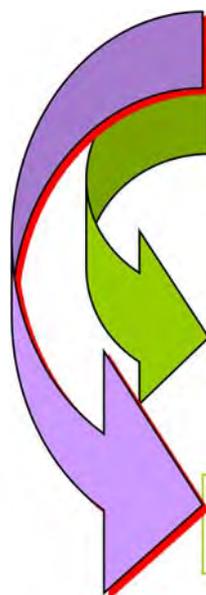
- **2017** 60<sup>th</sup> Anniversary of the EMC Society

# プロローグ：わが国のEMC 提唱者～1977年(昭和52年)



東北大学・東北学院大学 名誉教授  
佐藤利三郎 先生

平成23年4月12日早朝 逝去（享年89歳）



イー・エム・シー  
E M C

電磁環境

環境電磁工学

佐藤利三郎・越後宏：  
環境電磁工学の現状と展望，  
電気学会雑誌，99巻1号，pp.11-18，  
昭和54年(1979年)1月号

電磁エネルギーの利用の発達に伴い変化してきた地球，  
および天体の電磁氣的周囲環境の把握とその予測，更に  
調和のとれた環境とするための制御方法，電磁エネルギー  
の有効利用に資する工学，理学，医学，経済学，社会学などの  
多方面にわたる学際的研究の基礎学問分野をいう。

- **1976-12** 電子通信学会(電子情報通信学会の前身)，電気学会において「環境電磁工学研究専門委員会(EMCJ)」の設立が理事会で承認。
- **1977-04** 第1回目EMCJ主催研究会
- **2017** EMCJ設立 40周年

# 電波の人体に及ぼす影響と安全性 ～ 電波防護指針の考え方と根拠, 検証 ～

日時 平成28年10月12日（水）

場所 山口大学 工学部 D11教室(山口県宇部市)

藤原 修（電気通信大学 / 名古屋工業大学）

- ✓プロローグ
- ✓EMCとは
- ✓電磁波と人体影響
- ✓人体防護基準
- ✓基準根拠の明確化
- ✓基準根拠の検証
- ✓エピローグ

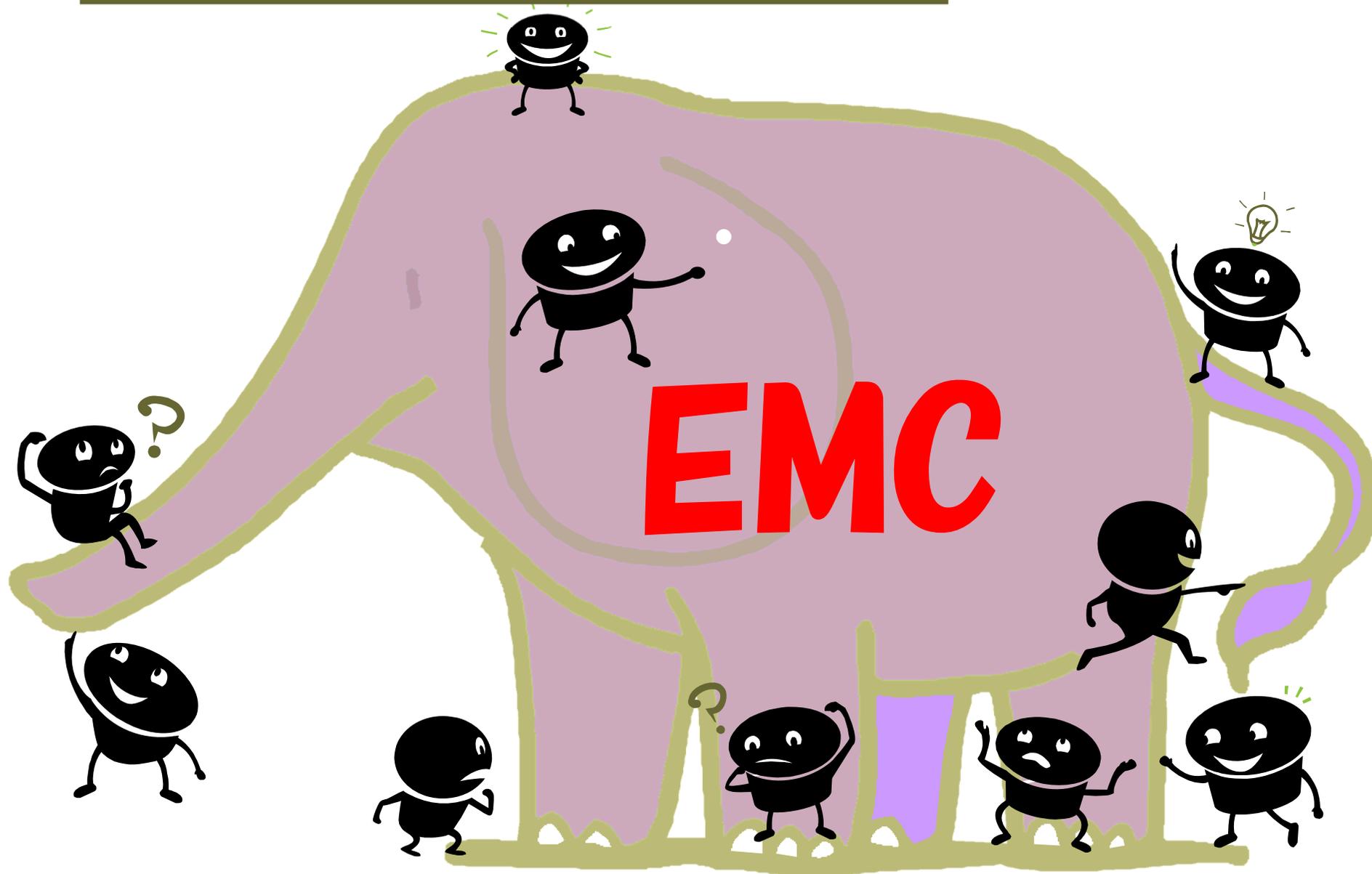
電波の安全性に関する説明会

主催：総務省中国総合通信局

共催：国立大学法人 山口大学

後援：山口県、宇部市、中国情報通信懇談会、山口県電波適正利用推進員協議会

# EMCとは～1980年(昭和55年)ころ



## EMCとは ー続き

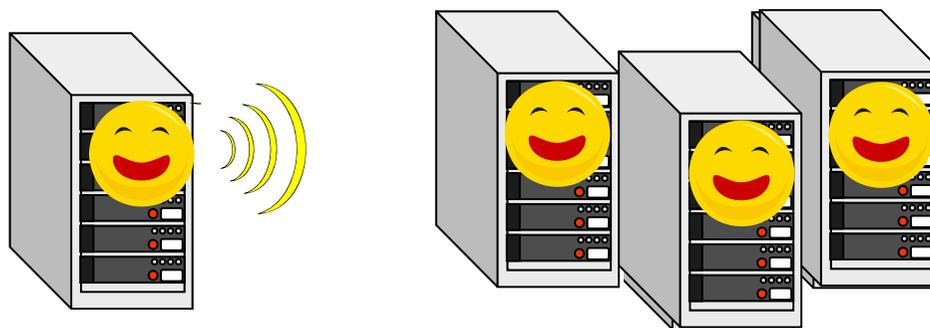
エンサイクロペディア，電子情報通信ハンドブック，オーム社，2000年

### EMC/電磁両立性 (電磁適合性)

### ElectroMagnetic C Compatibility

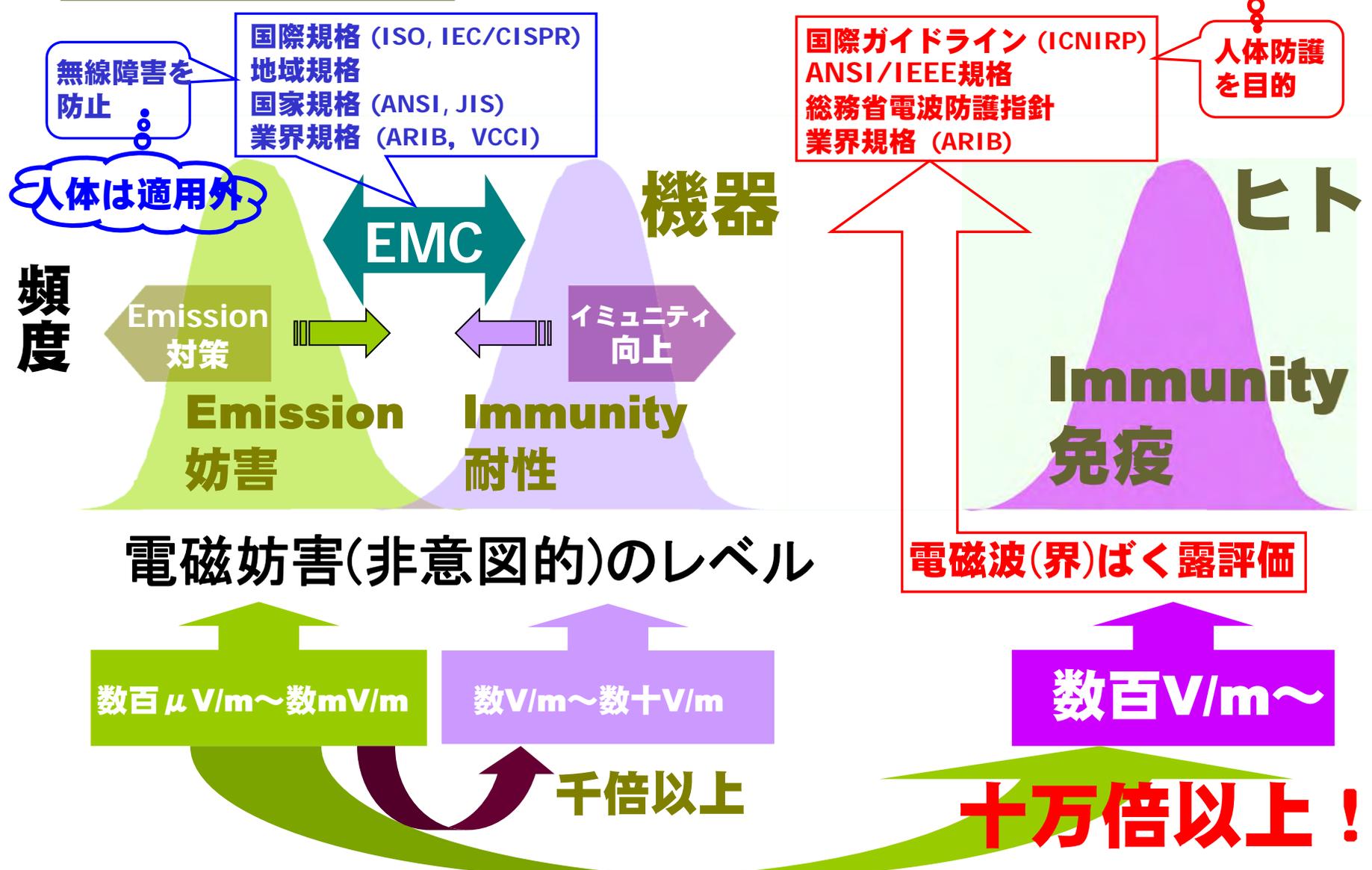
**電磁環境**下にあるデバイスやシステムが正常に機能し，他のデバイス等に電磁障害を起こさず，その環境にも不要な電磁エネルギーを放出 (Emission) しない**能力**をいう。

#### Emission

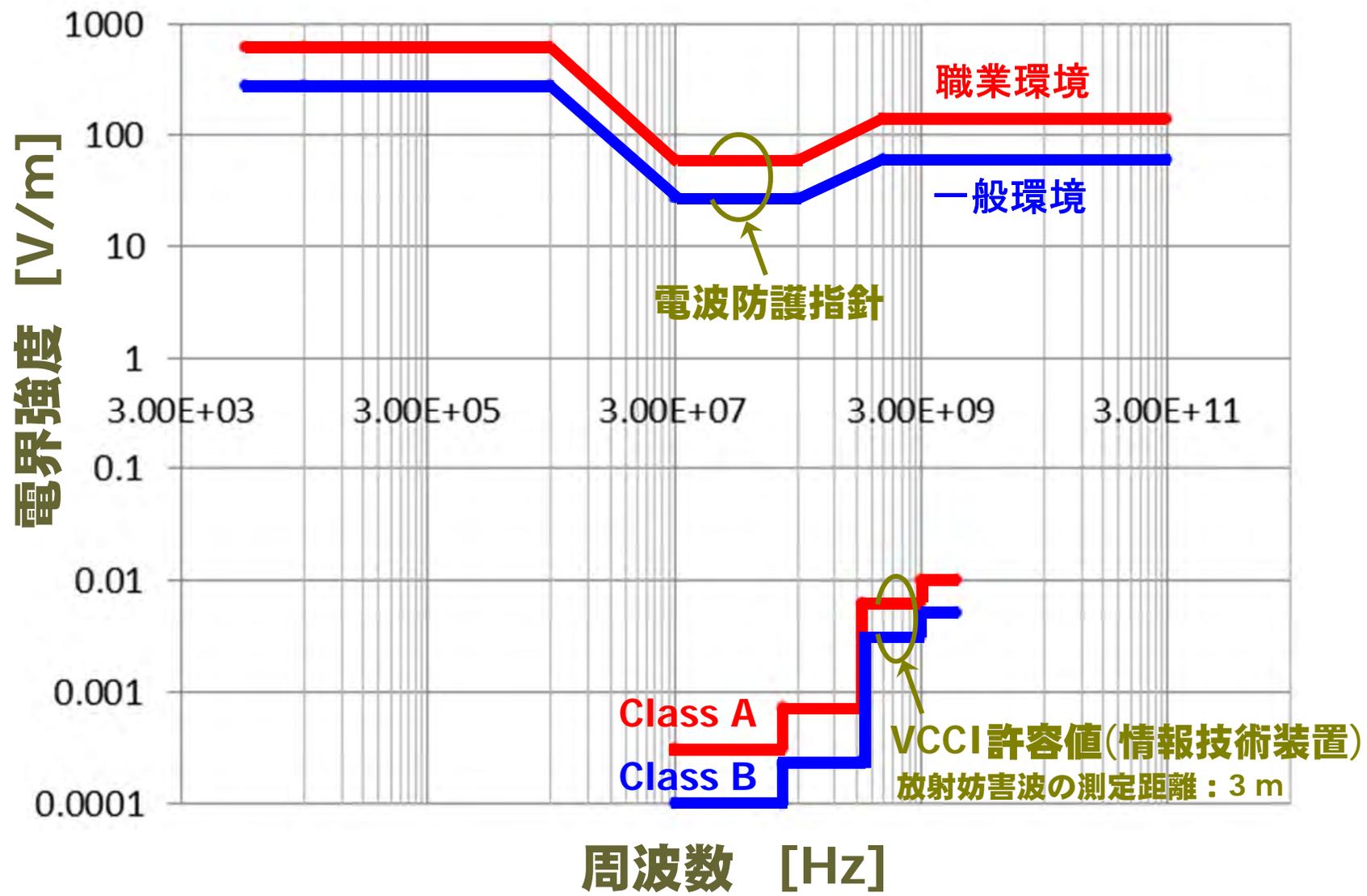


#### Immunity(耐性, 免疫)

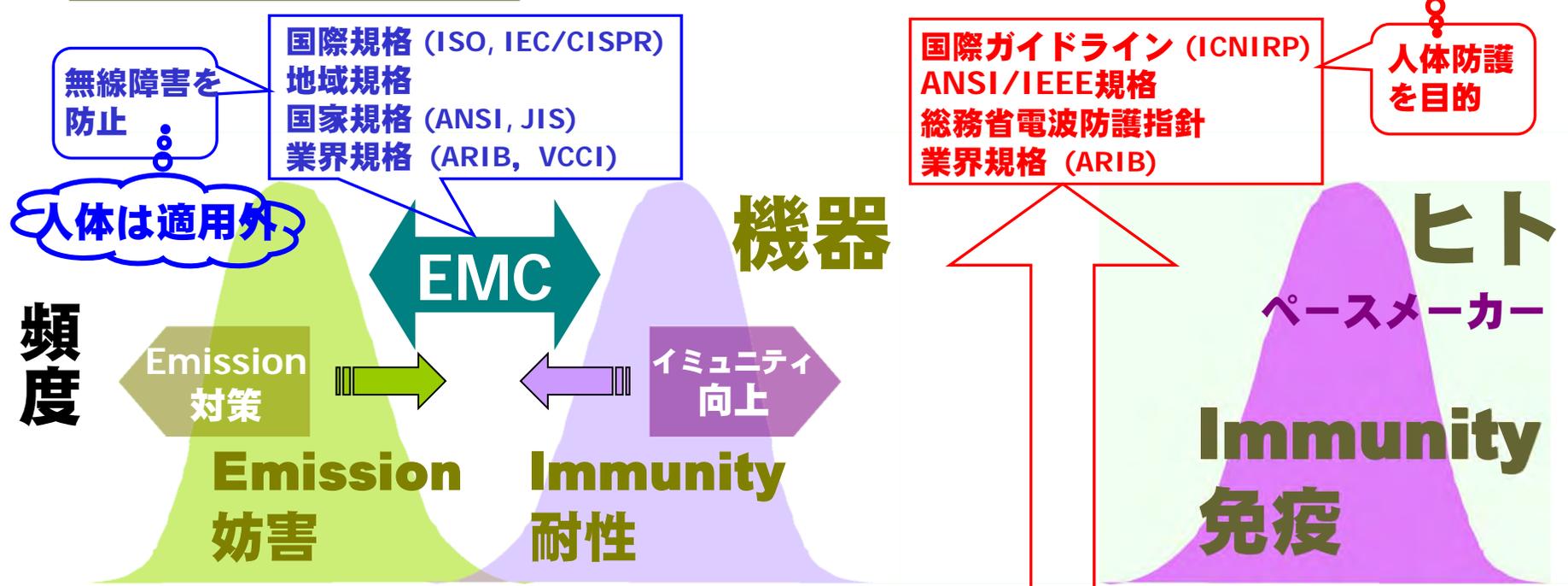
# EMCとは ー続き



# EMCとは ー続き



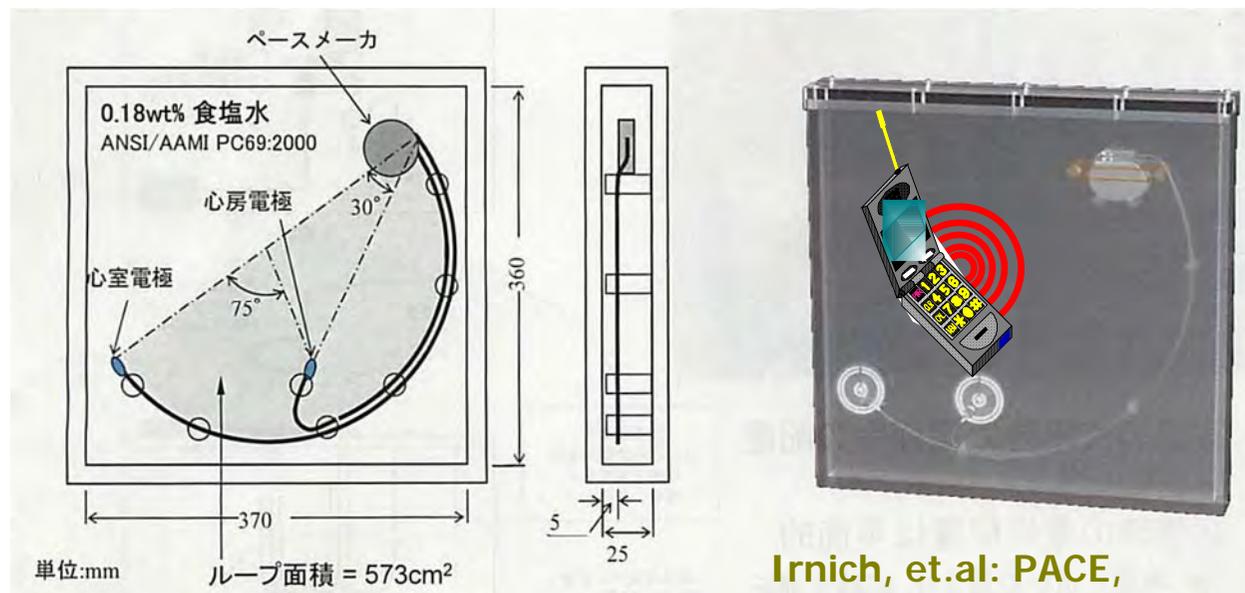
# EMCとは ー続き



## 電磁妨害のレベル



# ペースメーカーのイミュニティ試験法



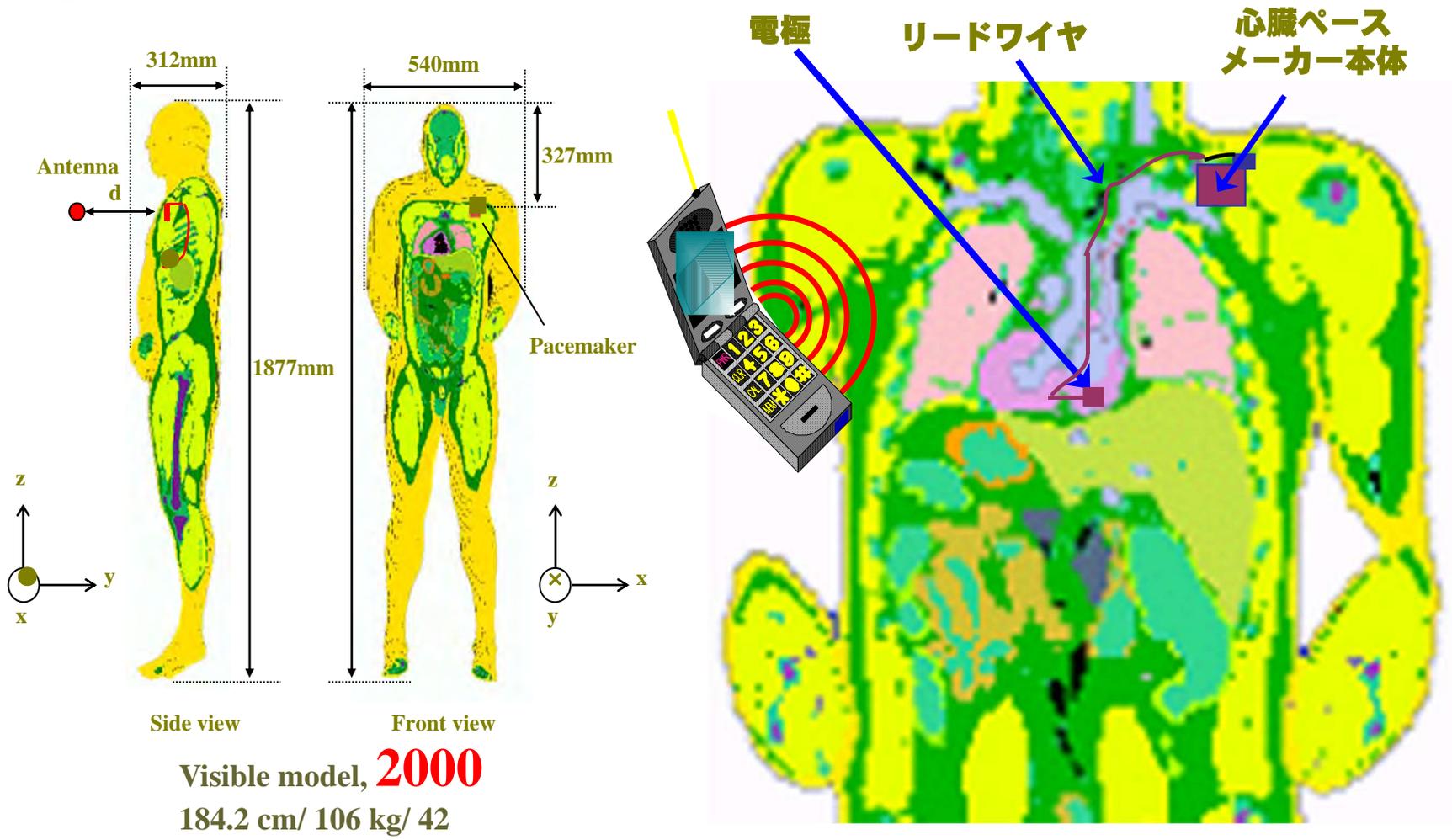
## Irnichの電磁干渉試験モデル

豊島健：「医療機器等への電磁干渉についての総合影響評価耐性の構築」,  
NICT/EMC-net, 電波の安全性に関する将来課題パネルディスカッション, 2016年7月5日(火)

# 携帯端末の電磁干渉解析例

Jiaqing Wang, Osamu Fujiwara, Toshio Nojima:  
IEEE MTT Transactions, Vol.45, No.11, pp.2121-2125, 2000

大島健史・高橋恵理・王建青・藤原修：  
信学論, Vol. J85-B, No. 12, 2002年12月



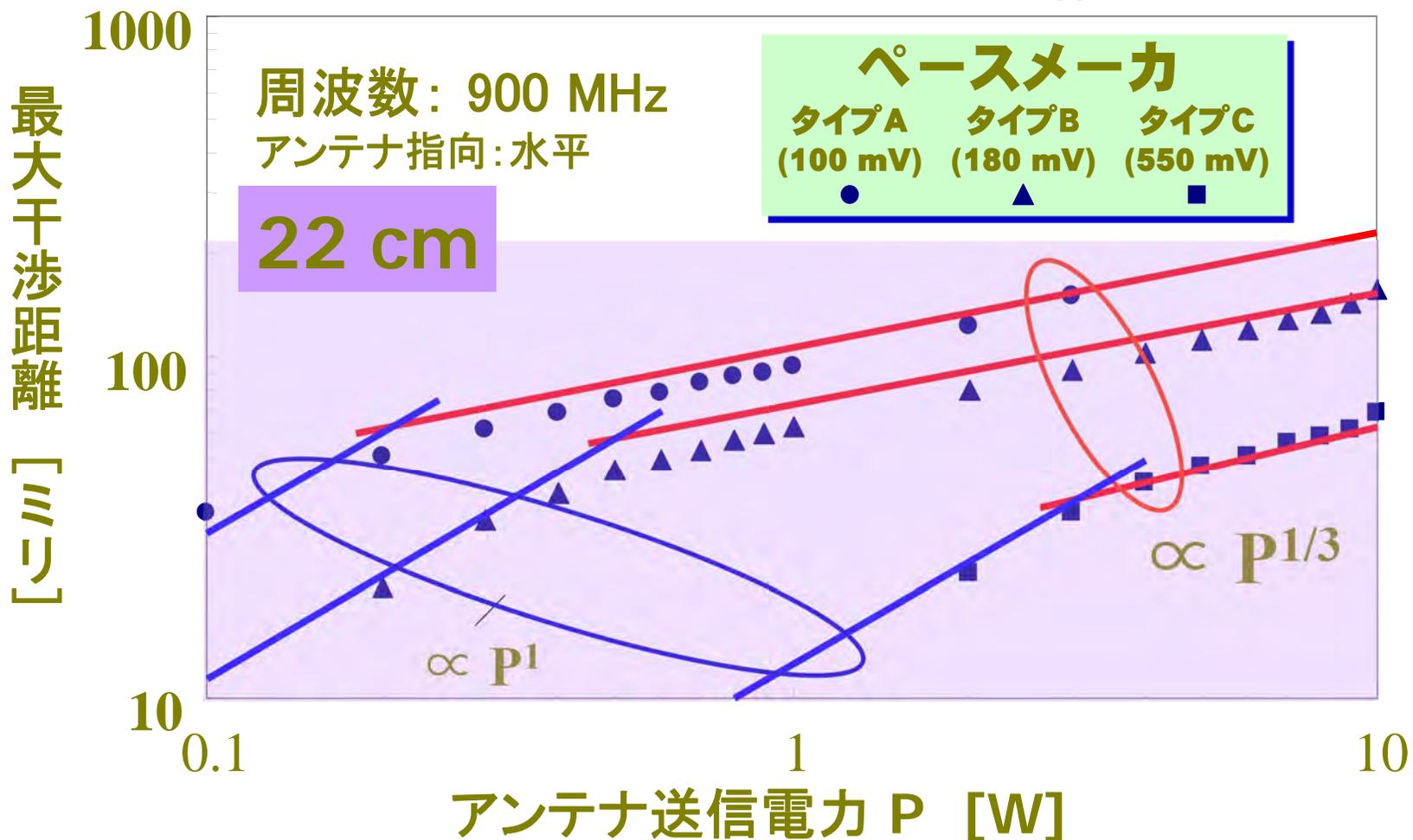
Visible model, 2000  
184.2 cm/ 106 kg/ 42

# 携帯端末の電磁干渉解析例 ー続き

Jiaqing Wang, Osamu Fujiwara, Toshio Nojima:  
IEEE MTT Transactions, Vol.45, No.11, pp.2121-2125, 2000

大島健史・高橋恵理・王建青・藤原修：  
信学論, Vol. J85-B, No. 12, 2002年12月

Irnich, et.al: PACE,  
Vol.19, pp.488-497, 1996



## 医療機器への電磁干渉について ー続き

豊島健：「医療機器等への電磁干渉についての総合影響評価耐性の構築」，  
NICT/EMC-net，電波の安全性に関する将来課題パネルディスカッション，2016年7月5日(火)

### ➤ わが国における医療機器の法規制

EMC規格(JIS T0601-1-2)の適合確認(2007年3月31日～)

植え込み型医療機器：国際規格の適合確認で代用可

### ➤ 植え込み型医療機器のEMC規格

#### ✓ ISO 14708-1 (一般要求)

外科用植え込み機器-能動的植え込み型医療機器-

第1部：安全，表示および製造業者が提供すべき情報に関する一般要求事項

✓ ISO 14708-3 神経刺激装置

✓ ISO 14708-4 薬剤注入装置

✓ ISO 14708-5 補助人工心臓

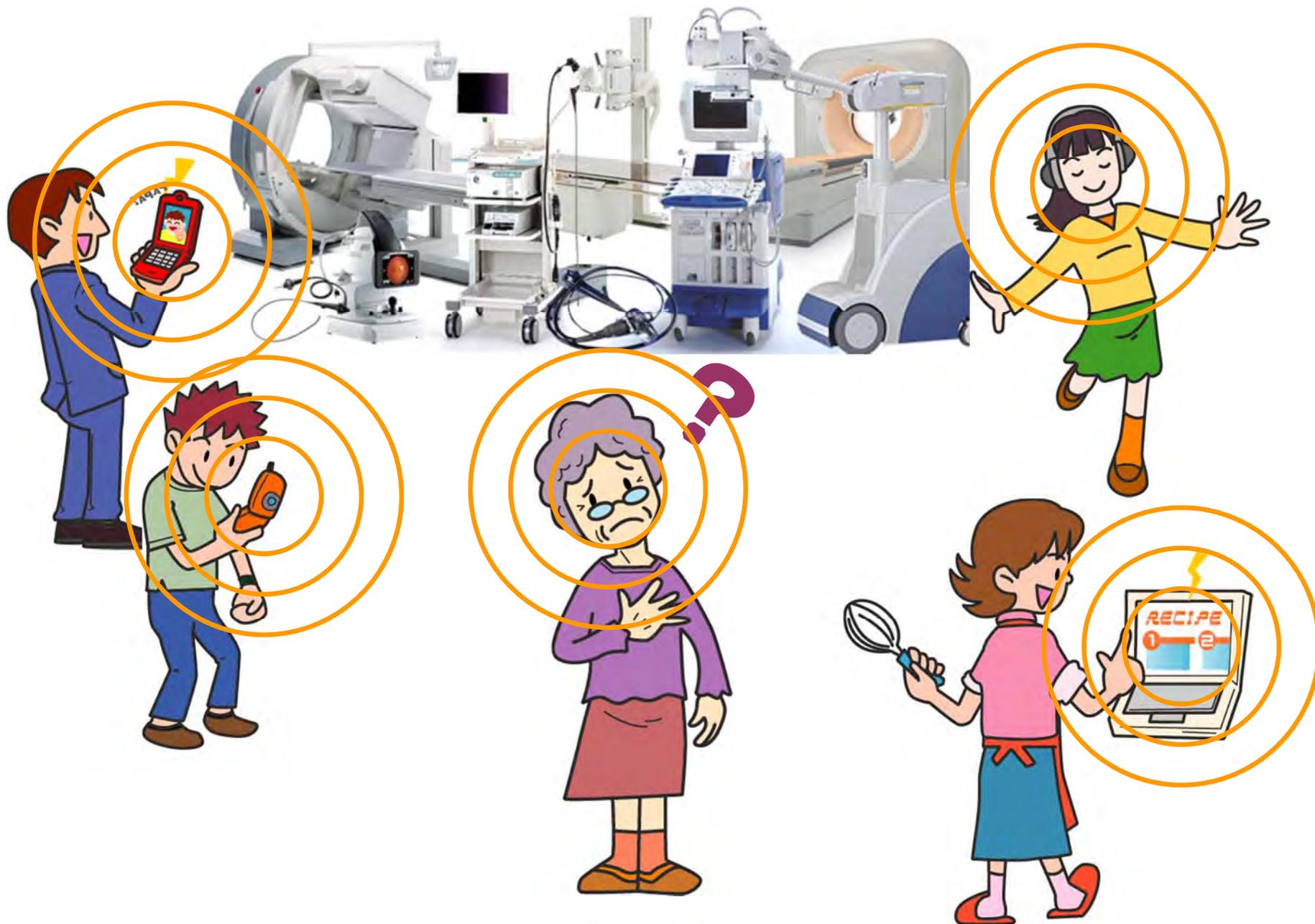
✓ ISO 14708-7 人工内耳

ISO: International Organization for Standardization

国際規格を策定するための国際的な非政府組織

# 電波の安全性に関する説明会

主催：総務省中国総合通信局  
共催：国立大学法人 山口大学  
後援：山口県，宇部市，中国情報通信懇談会，山口県電波適正利用推進員協議会



# 電波の人体に及ぼす影響と安全性 ～ 電波防護指針の考え方と根拠，検証 ～

日時 平成28年10月12日（水）

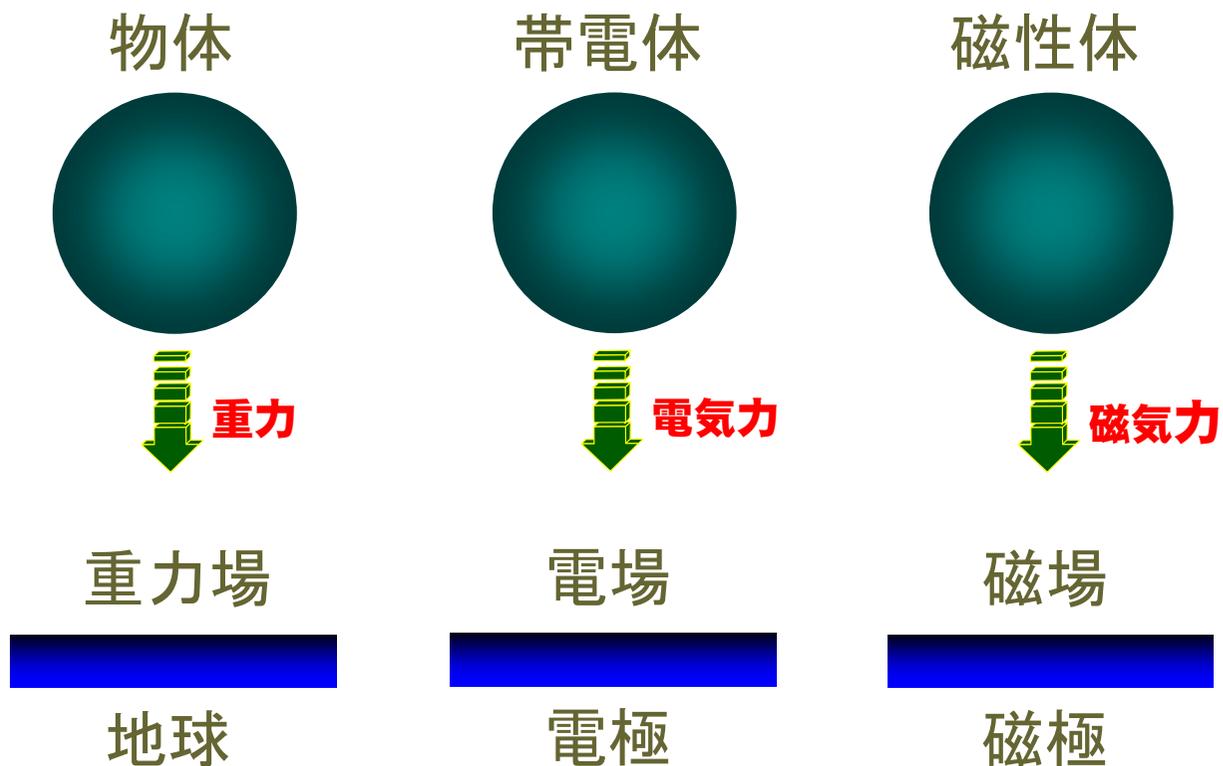
場所 山口大学 工学部 D11教室(山口県宇部市)

藤原 修（電気通信大学 / 名古屋工業大学）

- ✓プロローグ
- ✓EMCとは
- ✓電磁波と人体影響
- ✓人体防護基準
- ✓基準根拠の明確化
- ✓基準根拠の検証
- ✓エピローグ

# 電場と磁場

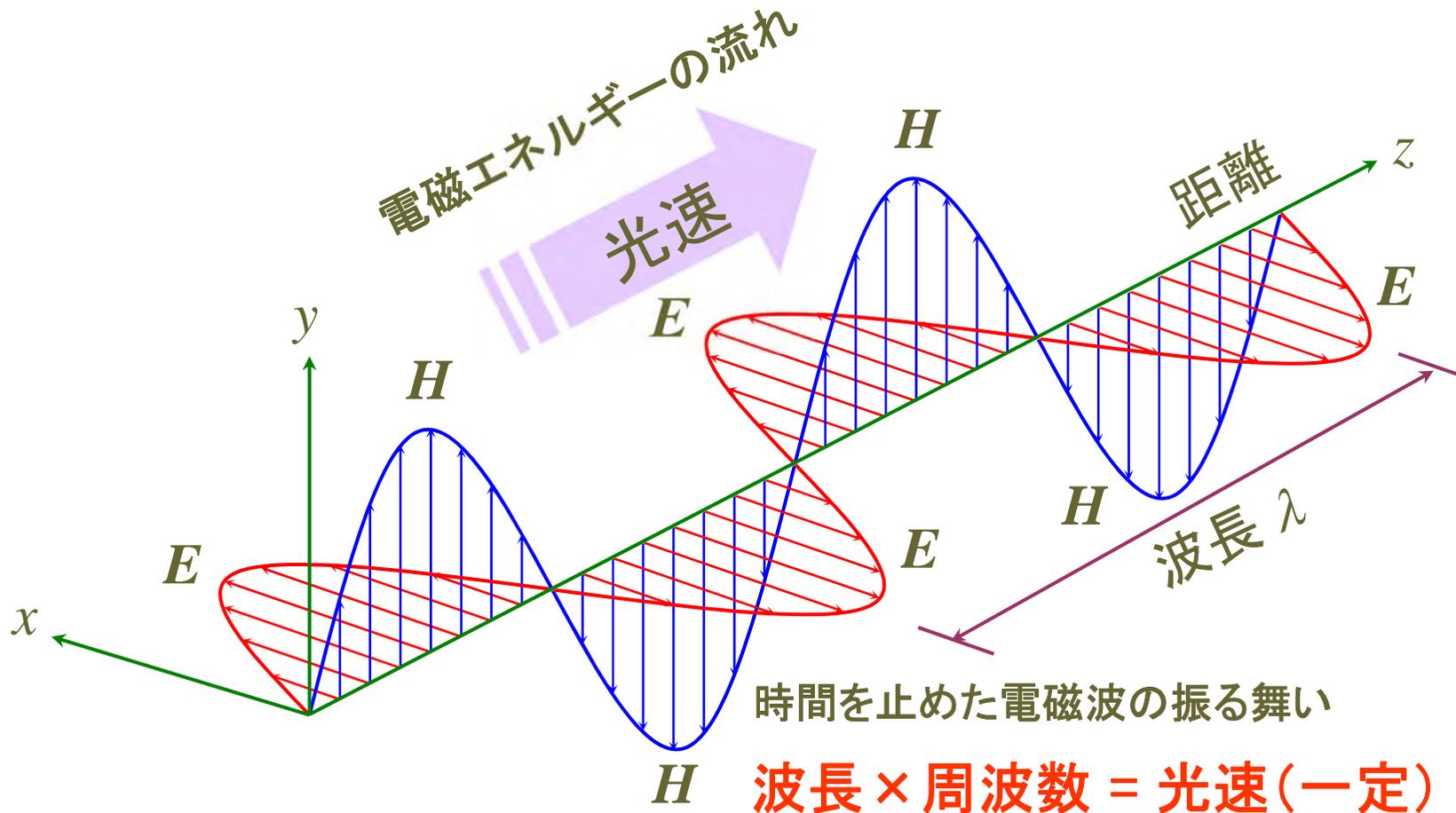
電場(電界): 電気力の働く空間  
磁場(磁界): 磁気力の働く空間



# 電磁場と電磁波

電磁場（電磁界）：電気力と磁気力の働く空間

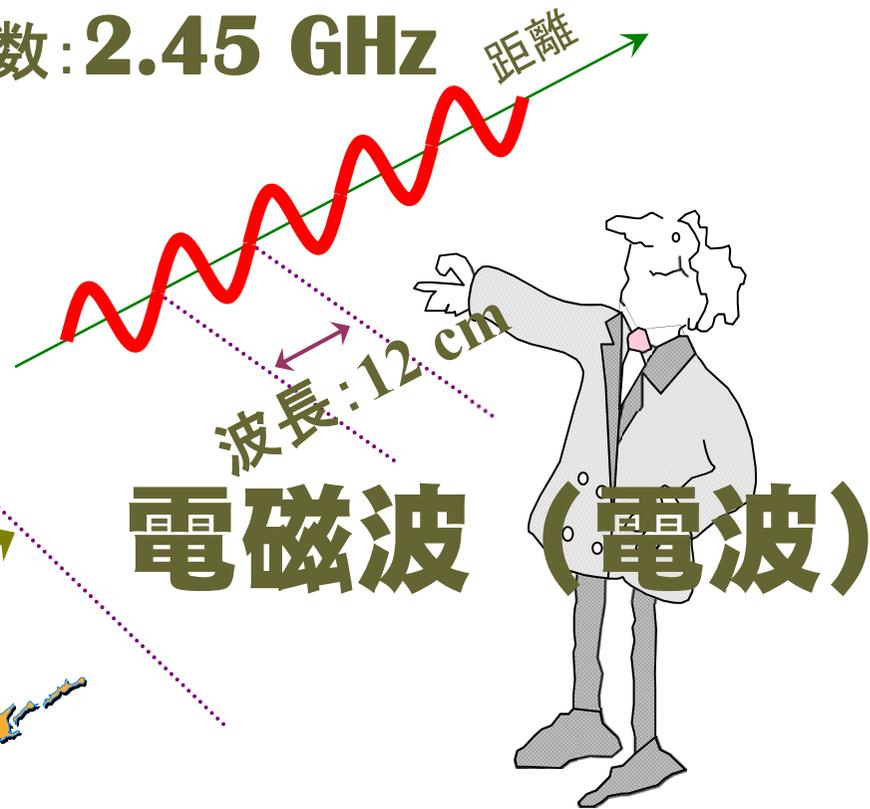
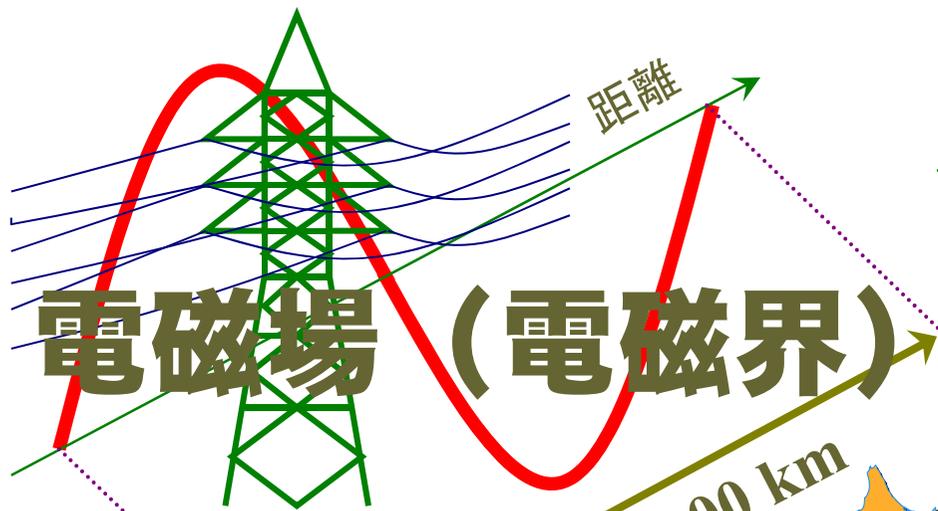
電磁波：電場Eと磁場Hの振動が伝播する波動



# 波長と周波数

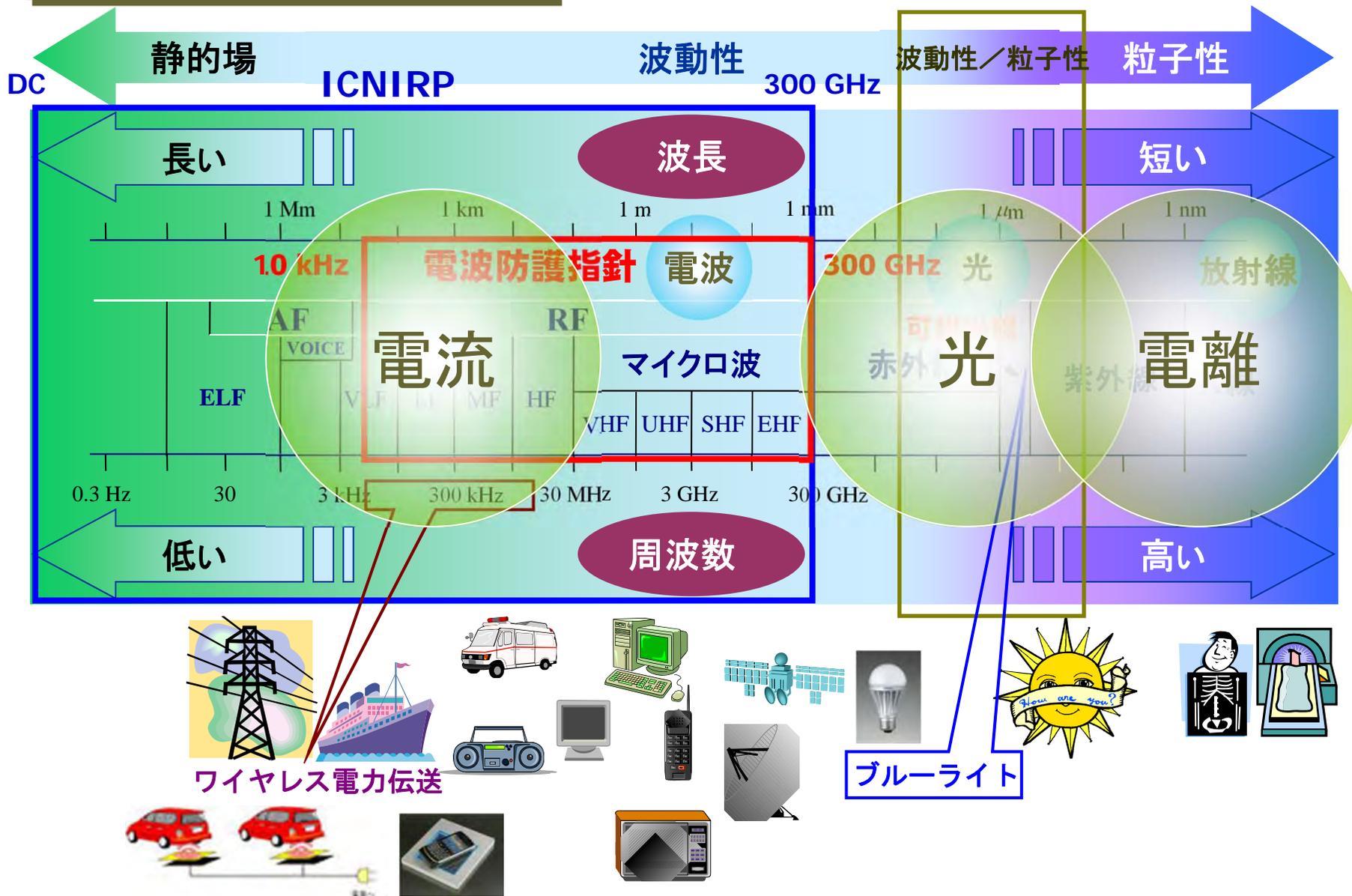
周波数：**60 Hz**

周波数：**2.45 GHz**

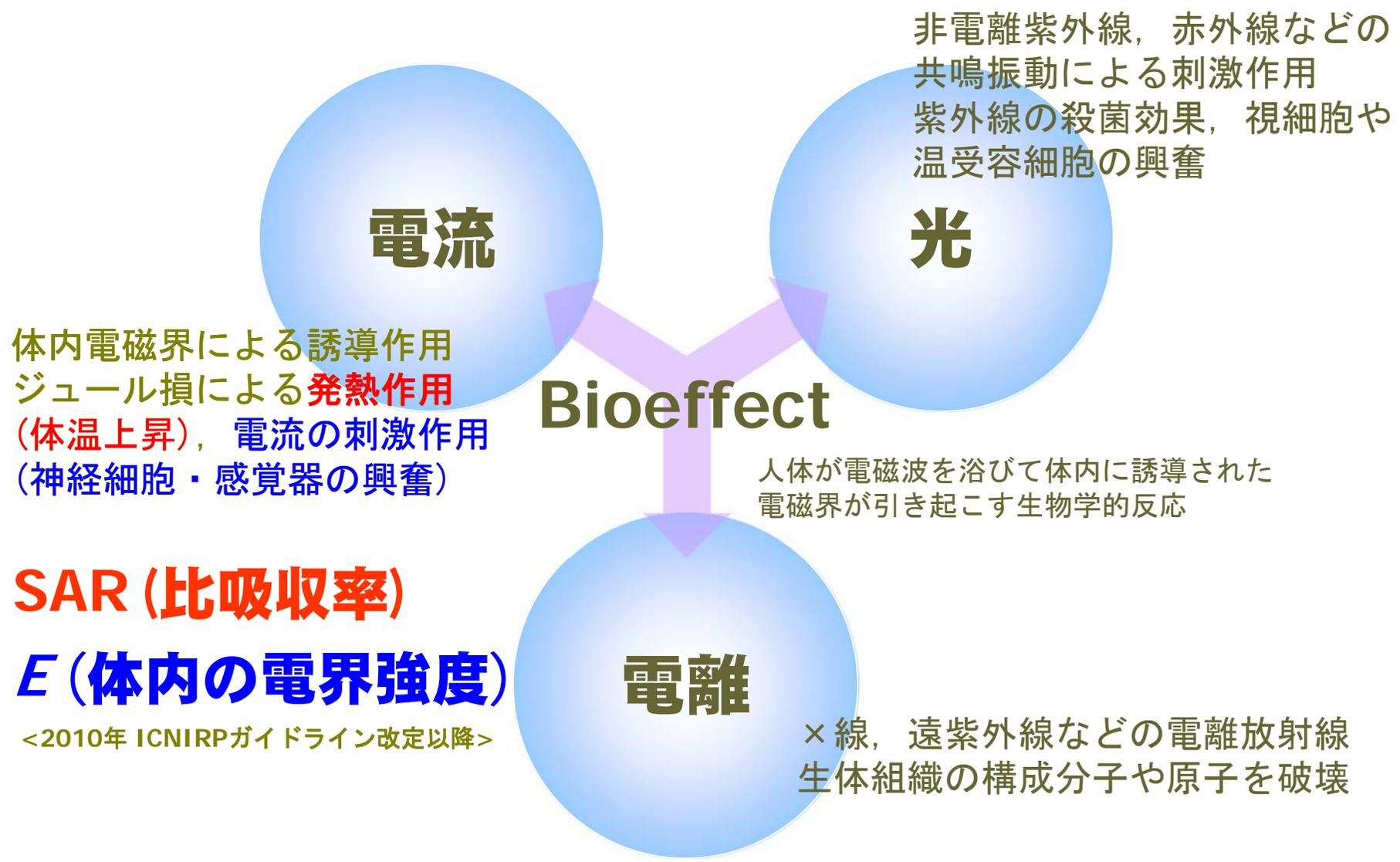


**波長 × 周波数 = 光速 (一定)**

# 電磁波の特徴と性質



# 電磁波の人体影響



**SAR (比吸収率)**

**E (体内の電界強度)**

<2010年 ICNIRPガイドライン改定以降>

## SARと体内電界強度

$$SAR = (1/2) \sigma E^2 / \rho \quad [W/kg]$$

**$E$ ：体内の電界強度**

$\sigma$ ：組織の導電率

$\rho$ ：組織密度

Specific Absorption Rate

比吸収率

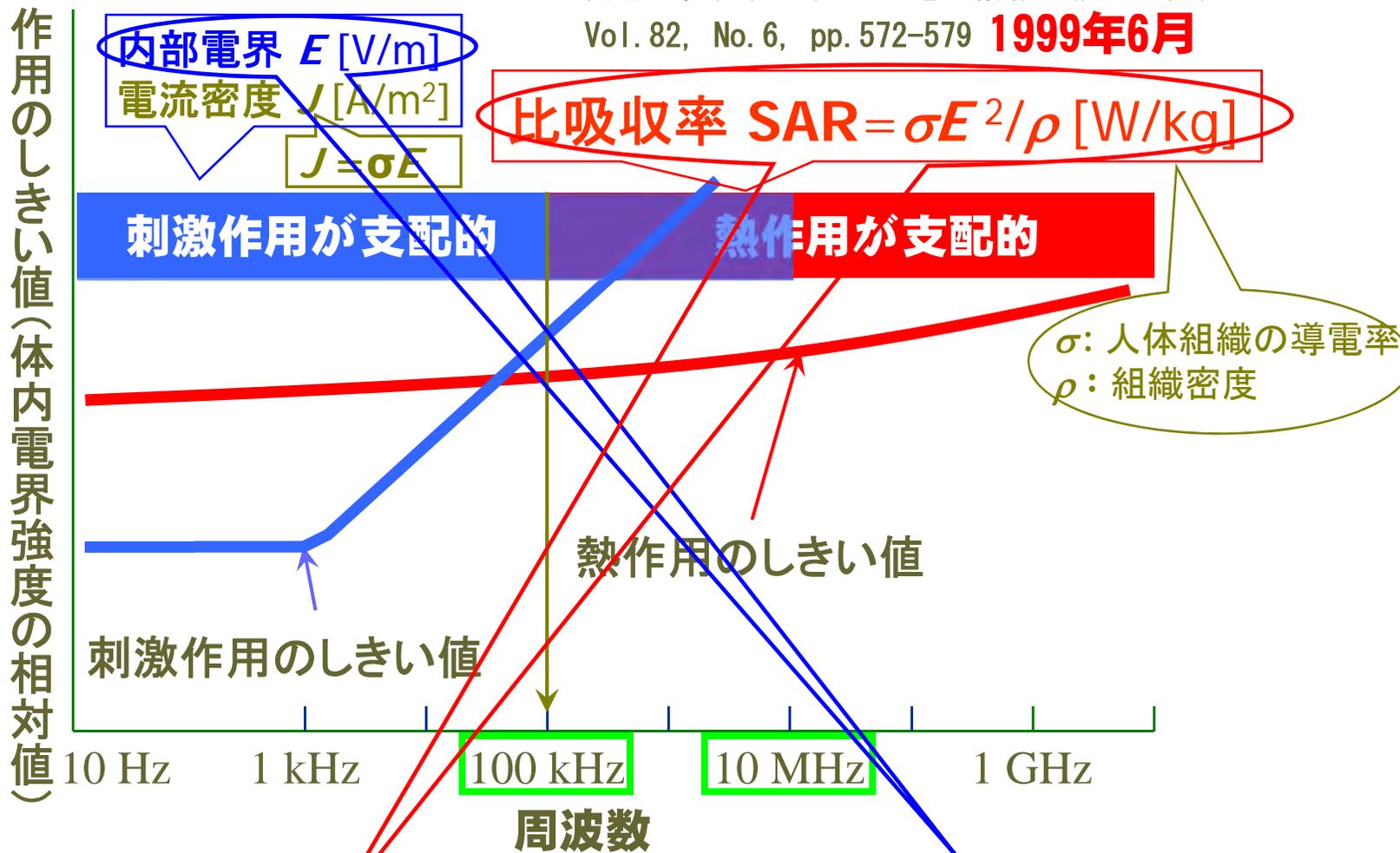
単位体重当たりの組織に吸収される電磁界の電力

熱発生源

# 電波の安全性に関する説明会

主催：総務省中国総合通信局  
共催：国立大学法人 山口大学  
後援：山口県、宇部市、中国情報通信懇談会、山口県電波適正利用推進員協議会

齊藤正男, 多気昌生：電子情報通信学会誌,  
Vol. 82, No. 6, pp. 572-579 **1999年6月**



電磁界の人体作用のしきい値      低周波では**刺激作用**が、  
高周波では**熱作用**が支配的で、その境は数十kHzである。

# 電波の人体に及ぼす影響と安全性 ～ 電波防護指針の考え方と根拠, 検証 ～

日時 平成28年10月12日（水）

場所 山口大学 工学部 D11教室(山口県宇部市)

藤原 修（電気通信大学 / 名古屋工業大学）

- ✓プロローグ
- ✓EMCとは
- ✓電磁波と人体影響
- ✓**人体防護基準**
- ✓基準根拠の明確化
- ✓基準根拠の検証
- ✓エピローグ

# 電磁波のばく露形態

- 全身ばく露
- 局所ばく露

## 全身ばく露

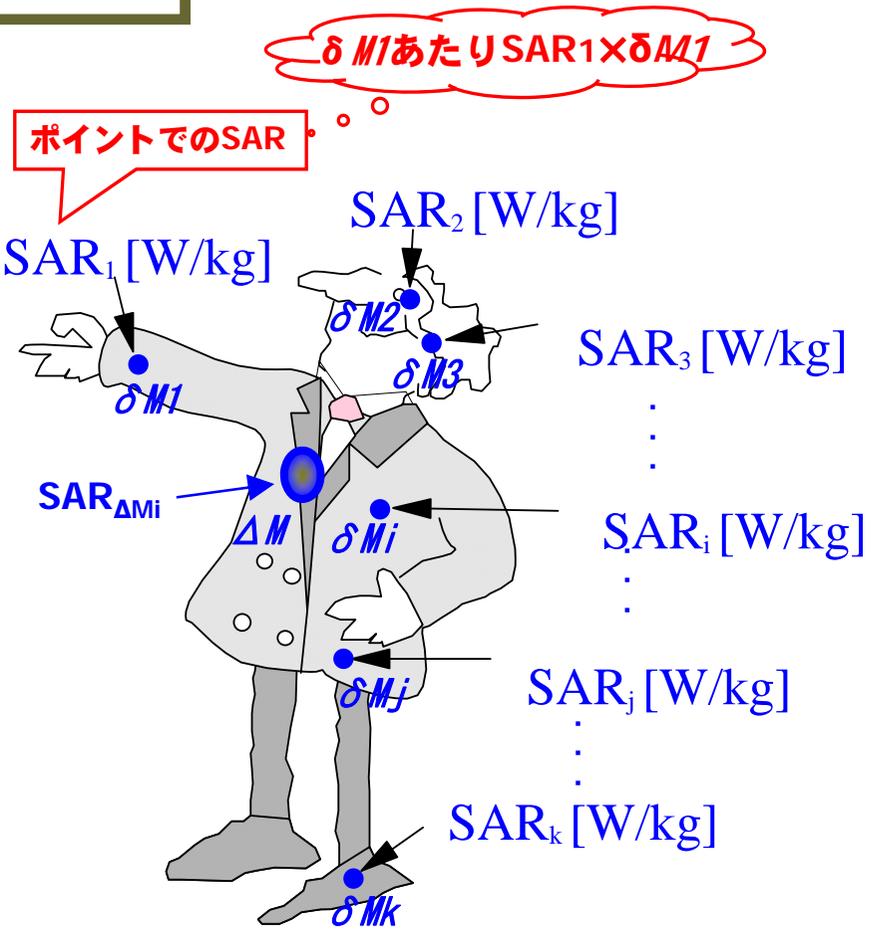
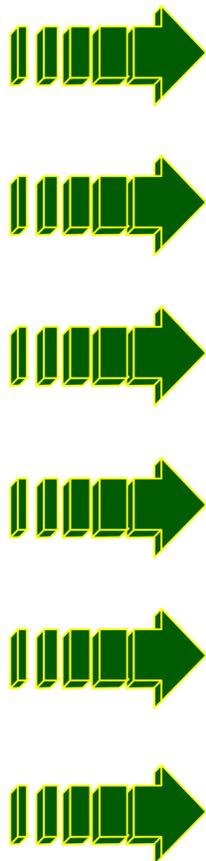
## 局所ばく露



# 全身平均SARと局所平均SAR

## 電波

- ・ 電界[V/m]
- ・ 磁界[A/m]
- ・ 電力密度[W/m<sup>2</sup>]



体重(質量) :  $M = \delta m_1 + \delta m_2 + \delta m_3 + \dots$  [kg]

**全身平均SAR** |  $M$ :  $\frac{SAR_1 \times \delta M_1 + SAR_2 \times \delta M_2 + SAR_3 \times \delta M_3 + \dots}{M (= \delta M_1 + \delta M_2 + \delta M_3 + \dots)}$  [W/kg]

**局所平均SAR** |  $\Delta M$ :  $\frac{SAR_{\Delta 1} \times \delta m_1 + SAR_{\Delta 2} \times \delta m_2 + SAR_{\Delta 3} \times \delta m_3 + \dots}{\Delta M (= \delta m_1 + \delta m_2 + \delta m_3 + \dots)}$  [W/kg]

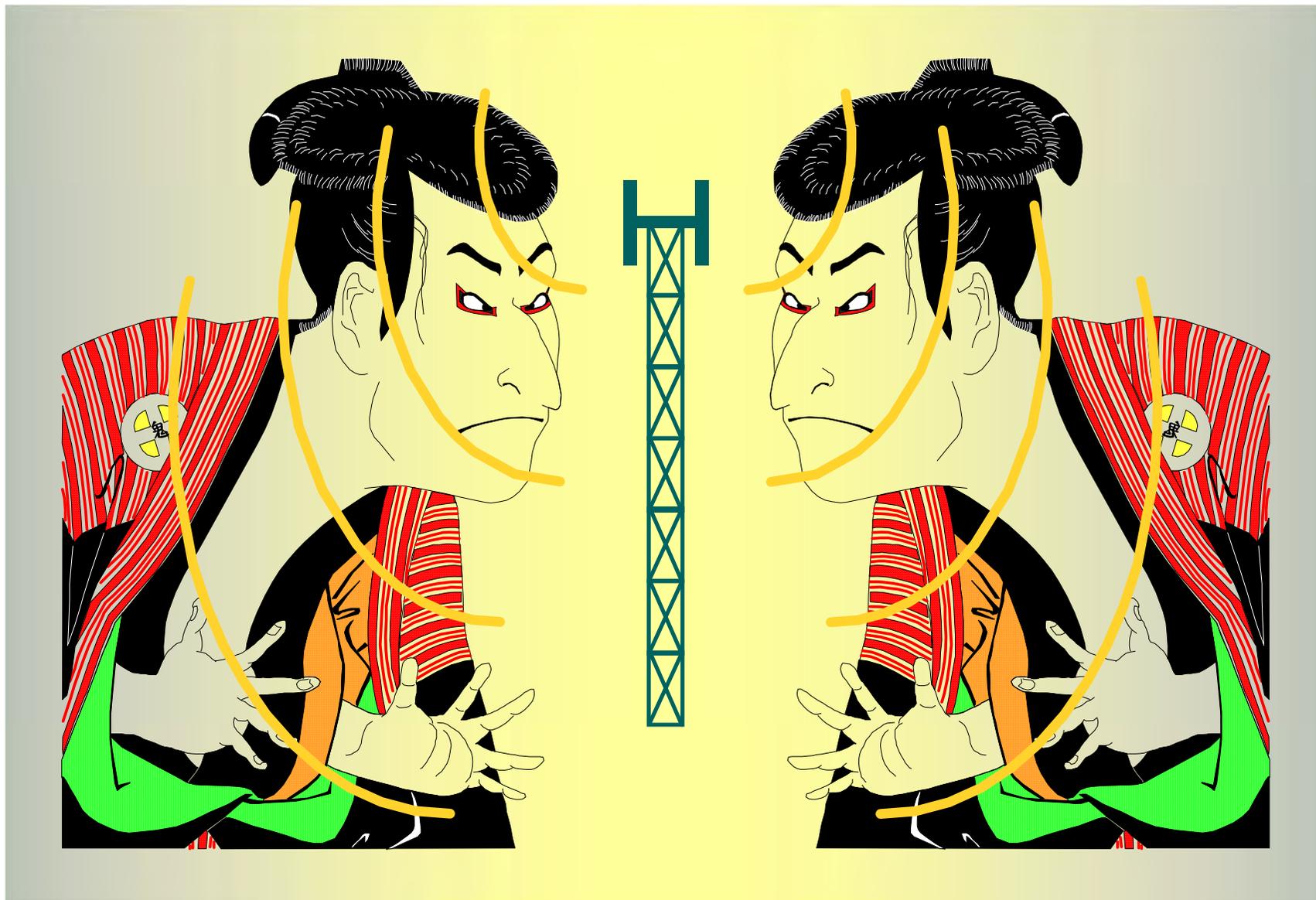
電波の安全性に関する説明会

主催：総務省中国総合通信局

共催：国立大学法人 山口大学

後援：山口県、宇部市、中国情報通信懇談会、山口県電波適正利用推進員協議会

# 電波の全身ばく露



## 総務省電波防護指針の考え方

### 👉 電波防護指針（1990年）

基礎指針： 全身平均 SAR < 0.4 W/kg

管理指針： 電力密度・電磁界強度値を規定  
管理環境／一般環境（電力密度で5分の1）

逆問題

### 👉 基本的な考え方

管理指針レベルでの電波ばく露は基礎指針を満たす

### 👉 管理指針の根拠

0.4 W/kg以下の全身平均SARとなる電波ばく露での  
深部上昇温度は十分小さい（1~2 W/kg=約1°C）  
~総務省諮問第38号答申(1990)

0.4 W/kgでは  
0.2~0.4 °C

基礎代謝から  
推定

### 👉 留意点

管理指針は、**単純形状の人体モデル**を対象として構築

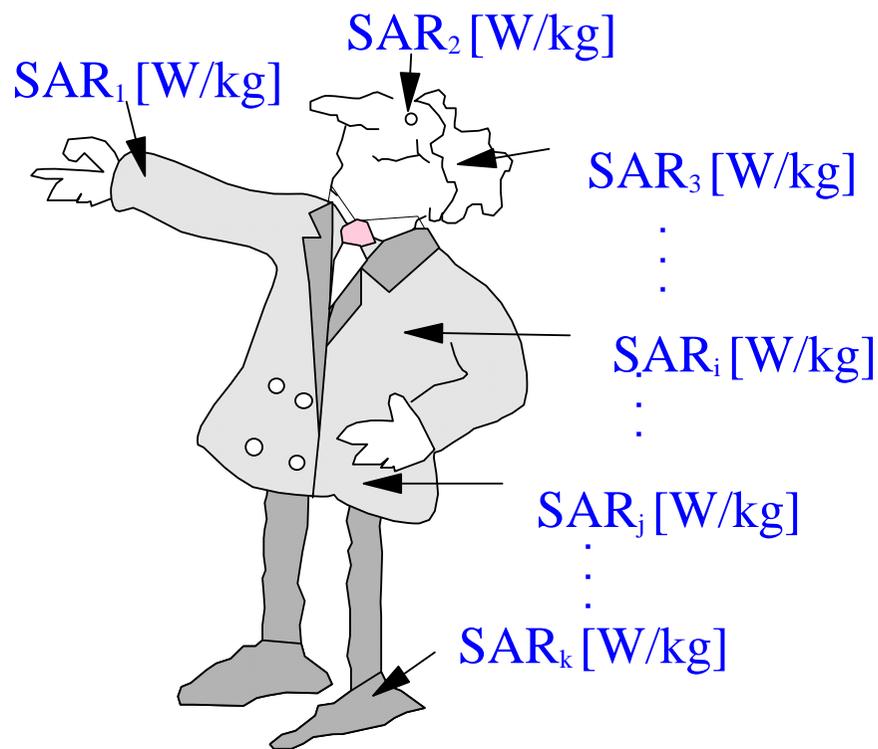
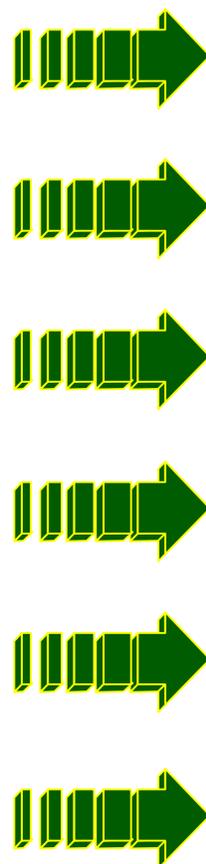
# 全身平均SARの規格・指針（管理環境）

	総務省諮問 第38号答申	ICNIRP	FCC FCC92-326	IEEE C95.1
公表	1990	1998	1996	2005
周波数	100 kHz – 300 GHz	100 kHz – 300 GHz	100 kHz – 300 GHz	100 kHz – 300 GHz
全身平均 SAR	0.4 W/kg <small>1997年局所吸収指針</small>	0.4 W/kg	0.4W/kg	0.4 W/kg
規定時間	6分	6分	6分	6分

# 電波の全身ばく露 - 続き

## 電波

- ・ 電界[V/m]
- ・ 磁界[A/m]
- ・ 電力密度[mW/cm<sup>2</sup>]



SAR[W/kg]は，電波の強さ[mW/cm<sup>2</sup>]に比例する  
人体影響は，全身吸収電力量[W]に並行するか？

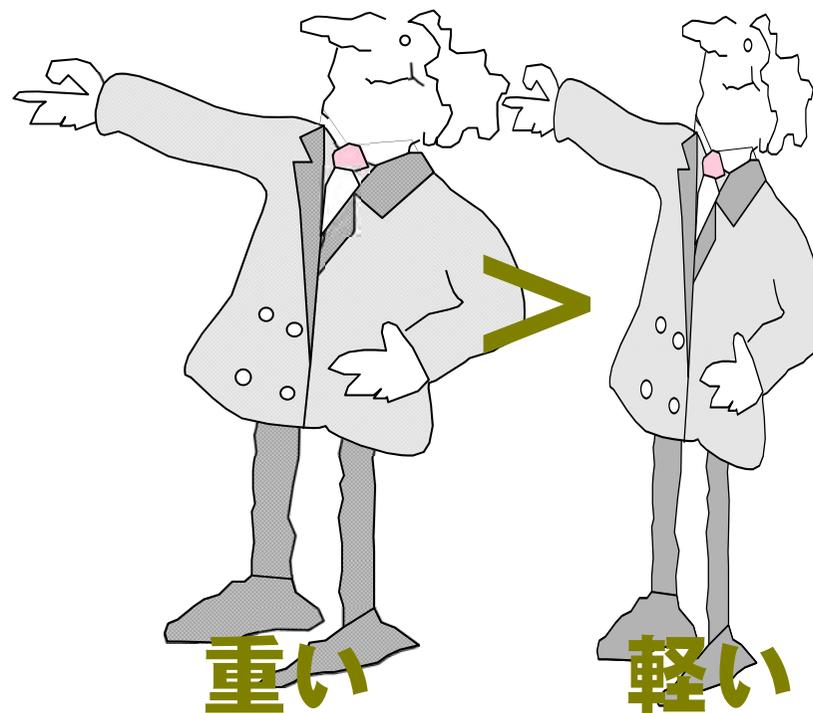
# 電波の全身ばく露 - 続き

## 電波

- ・ 電界[V/m]
- ・ 磁界[A/m]
- ・ 電力密度[mW/cm<sup>2</sup>]



全身吸収電力量



人体影響は， **全身平均SAR [W/kg]** に並行する

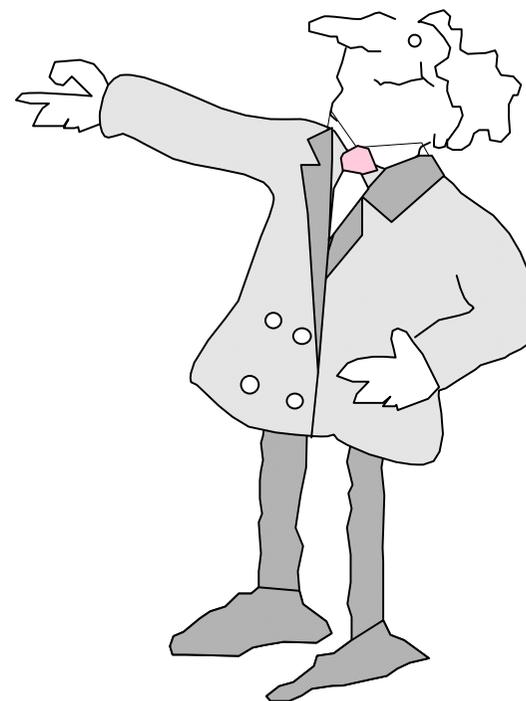
## 電波の全身ばく露 - 続き

### 成人男子のエネルギー所要量

2,000～2,500 [kcal/日]  
97～122 [W]

1.21 ～ 1.53 [W/kg]

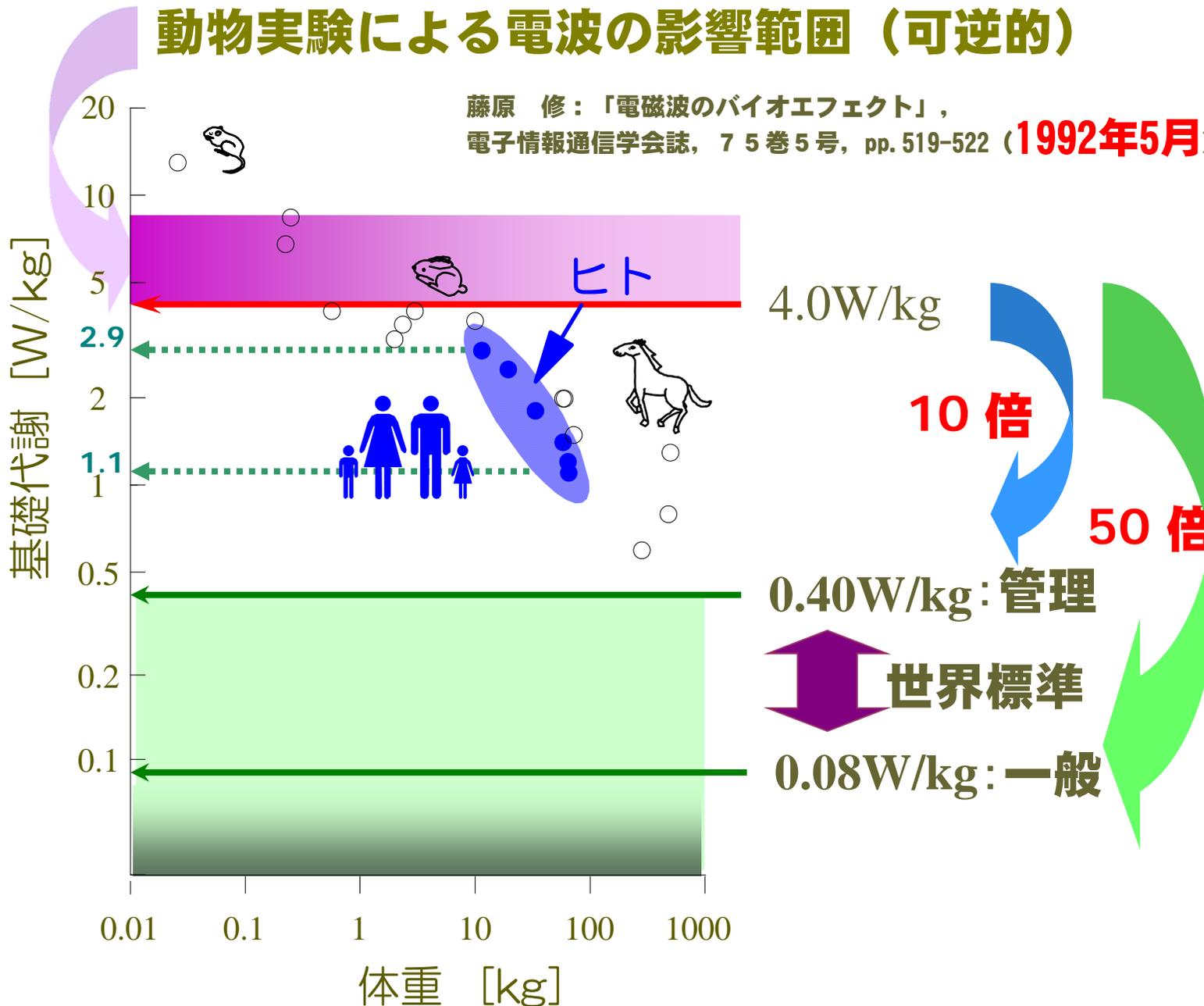
発熱量の全身にわたっての平均値



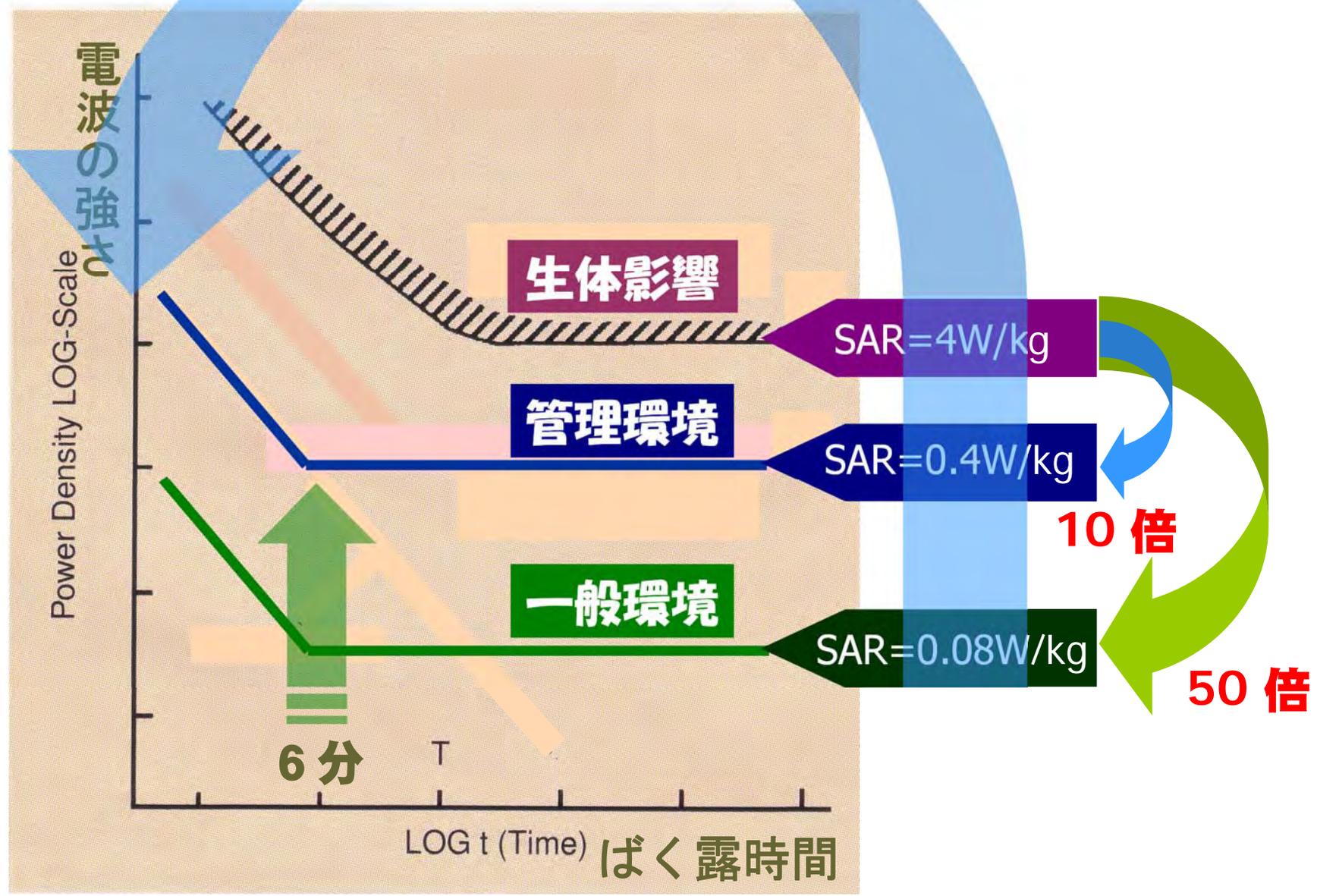
80 kg

## 動物実験による電波の影響範囲（可逆的）

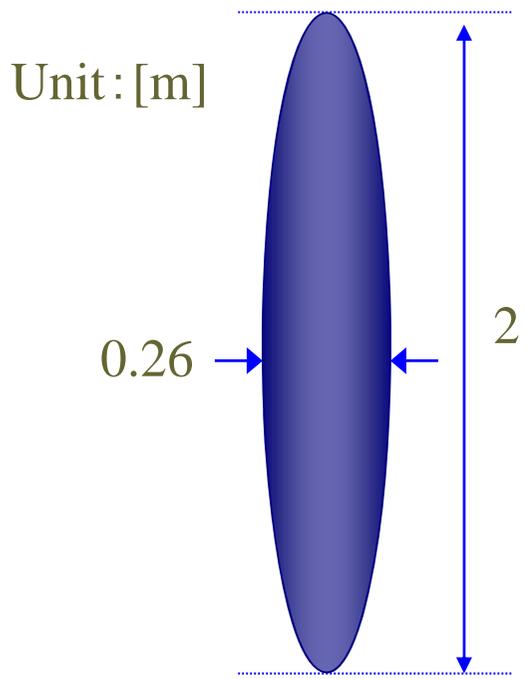
藤原 修：「電磁波のバイオエフェクト」，  
電子情報通信学会誌，75巻5号，pp.519-522（1992年5月）



# 安全基準の考え方

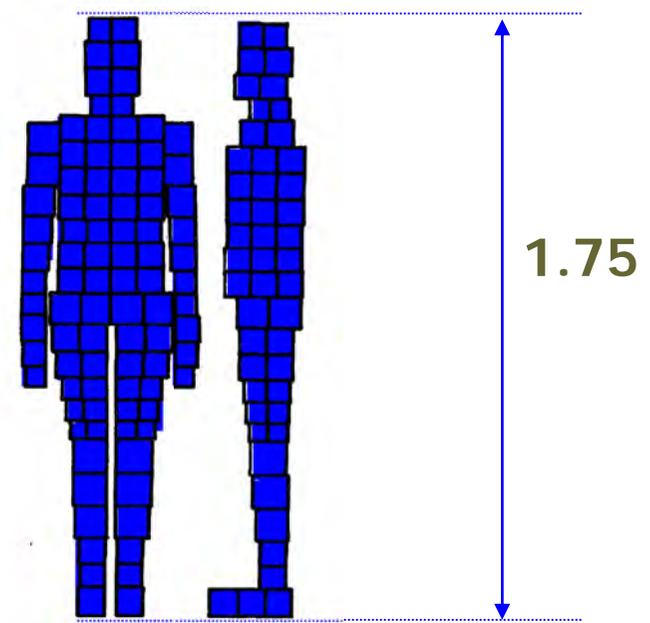


# 単純形状の人体モデル



**Prolate spheroid**  
C.H. Durney, et al., 1975

41年前!



**Improved model of man**  
M.J Hagsmann, et al., 1979

37年前!

# 1 mW/cm<sup>2</sup> 平面波による人体の全身平均SAR

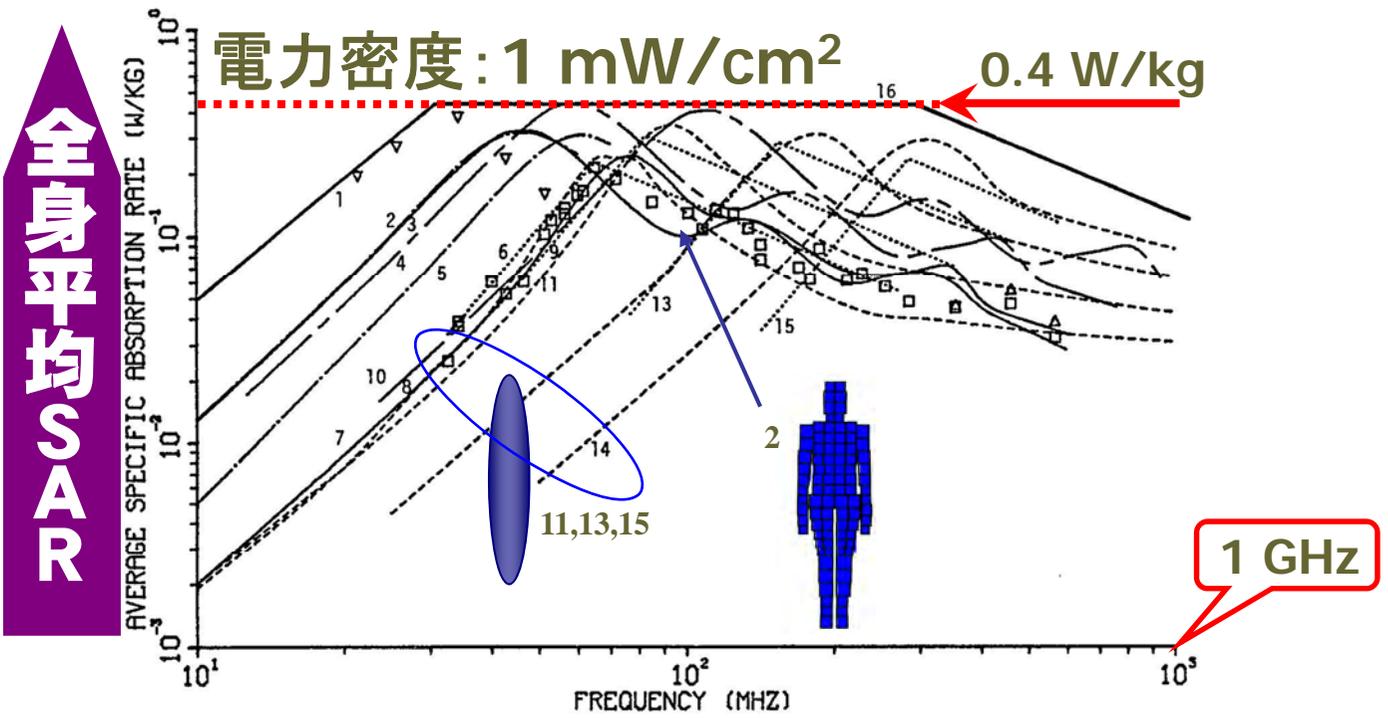


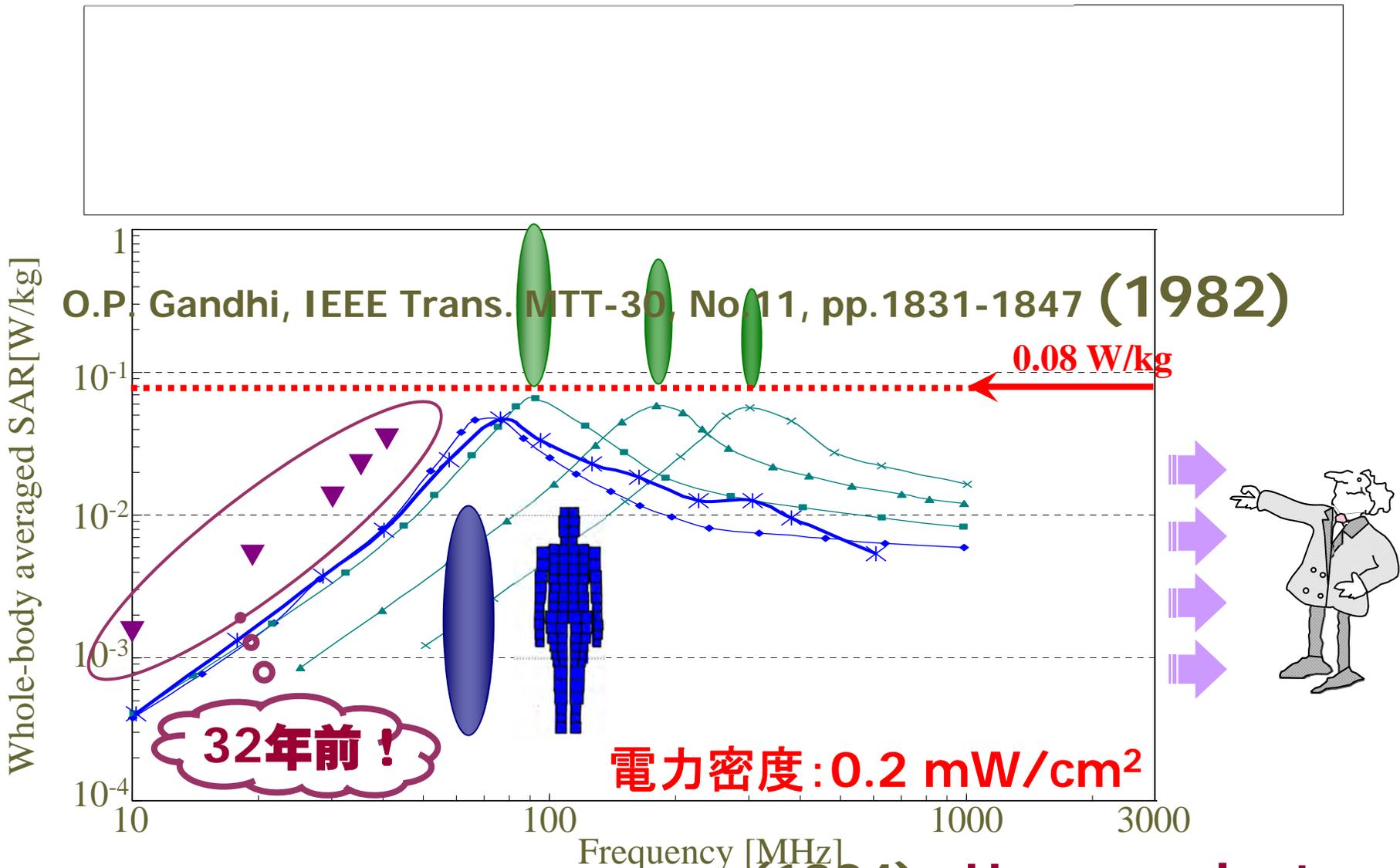
Fig. 9 Whole-body-averaged SAR for a human adult and a human infant. Power density = 1 mW/cm<sup>2</sup>. The results of numerical calculations with a block model of man—conductive contact with ground (from Fig. 8). 2. (solid curve) Numerical calculations with a block model of man—conductive contact with ground (from Fig. 8). 3. (chain-dot curve) Empirical—adult human in conductive contact with ground [62]. 4. (chain-dash) Scaling of curve 2 for ten-year-old child (grounded contact). 5. (chain-dot) Empirical—adult human 3 cm from ground plane [62]. 6. (dot) Empirical equation (from [61])—adult human in free space. 7. (solid) Numerical calculations for a block model of man in free space with figurine experimental data shown by open squares and phantom experimental data shown by open triangles [56], [57]. 8. (dash) Prolate spheroidal model of man in free space [62]. 9. (dot) Empirical equation [61]—ten-year-old child. 10. (chain-dash) Scaling of curve 2 for one-year-old child (grounded contact). 11. (dash) Prolate spheroidal model of ten-year-old child [62]. 12. (dash) Prolate spheroidal model of a one-year-old child [62]. 13. (dot) Empirical equation [61]—one-year-old child. 14. (dash) Prolate spheroidal model of a human infant [62]. 15. (dot) Empirical equation (from [61])—human infant.

周波数 [MHz]

34年前!

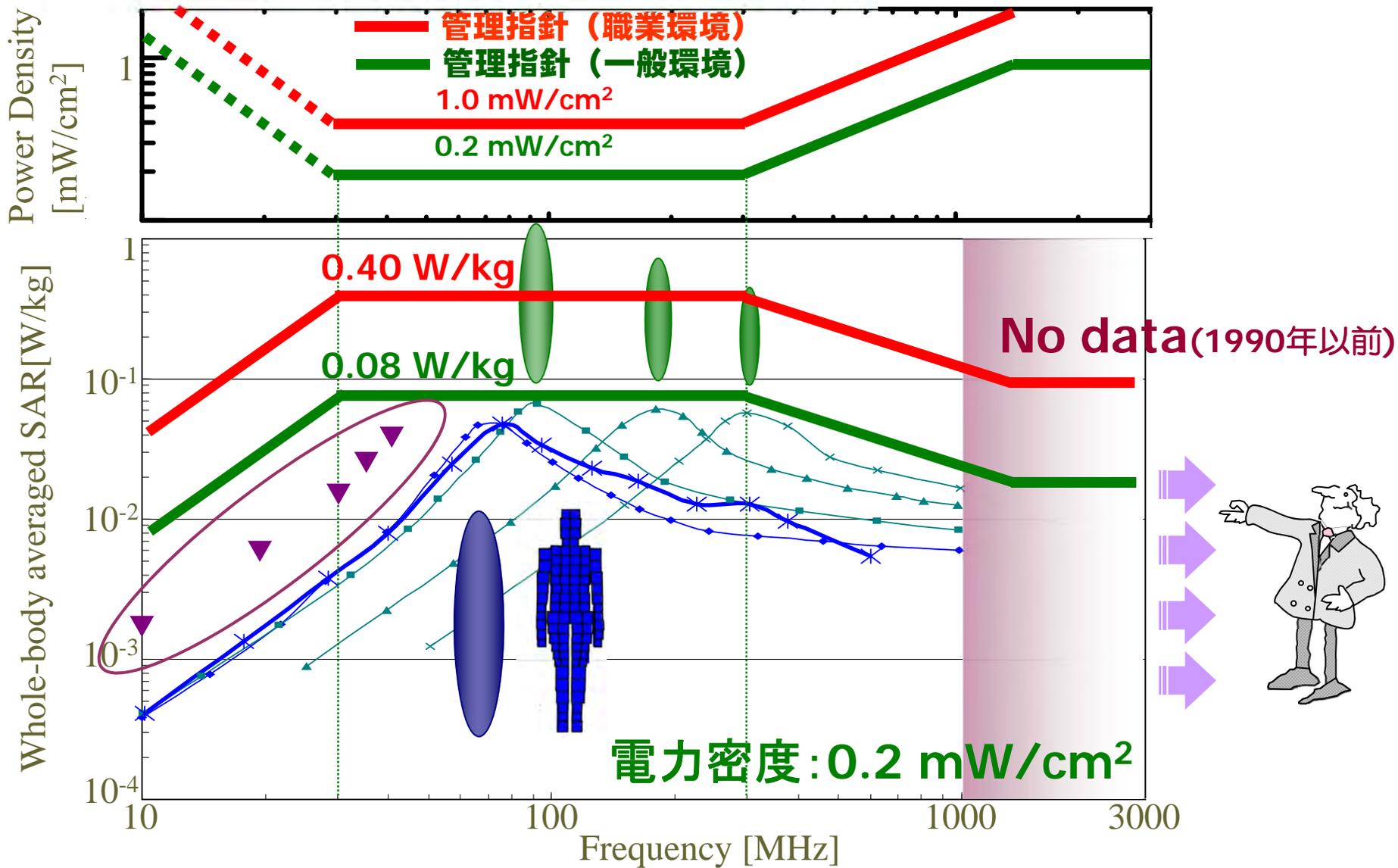
O.P. Gandhi, IEEE Trans. MTT-30, No.11, pp.1831-1847 (1982)

# 電波を浴びた際の人体の全身平均SAR

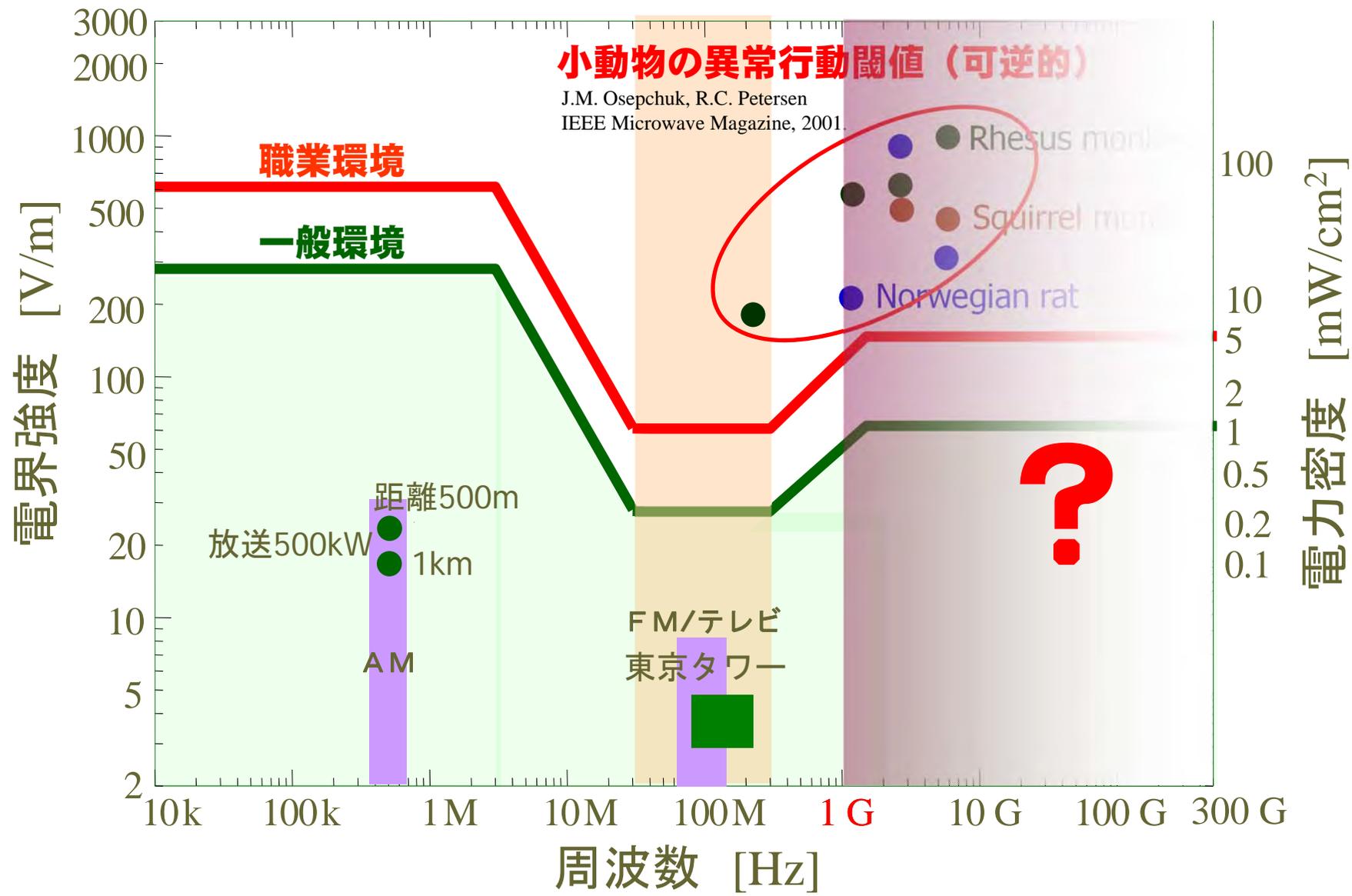


D.A.Hill, IEEE Trans. MTT-32, No.8, pp.772-778 (1984) : **Human volunteers**

# 電波の強さと人体全身平均SAR



# 電波の人体防護基準



# 電波の人体に及ぼす影響と安全性 ～ 電波防護指針の考え方と根拠，検証 ～

日時 平成28年10月12日（水）

場所 山口大学 工学部 D11教室(山口県宇部市)

藤原 修（電気通信大学 / 名古屋工業大学）

- ✓プロローグ
- ✓EMCとは
- ✓電磁波と人体影響
- ✓人体防護基準
- ✓**基準根拠の明確化**
- ✓基準根拠の検証
- ✓エピローグ

## WHO最優先課題(2006)

### ドシメトリに関する研究項目の抜粋

Further work on dosimetric models of **children of different ages and of pregnant women**. Improvement in dosimetric models of RF energy deposition in animals and humans combined with appropriate models of **the human thermoregulatory responses** (e.g. inner ear, head, eye, trunk, embryo, and foetus).

### 管理指針の根拠

**0.4 W/kg以下の全身平均SARとなる電波ばく露での深部上昇温度は十分小さい(1~2 W/kg=約1 °C)**

～総務省諮問第38号答申(1990)

# 高精度な人体モデル



米国ブルックス研究所

Visible model, **2000**  
184.2 cm/ 106 kg/ 42



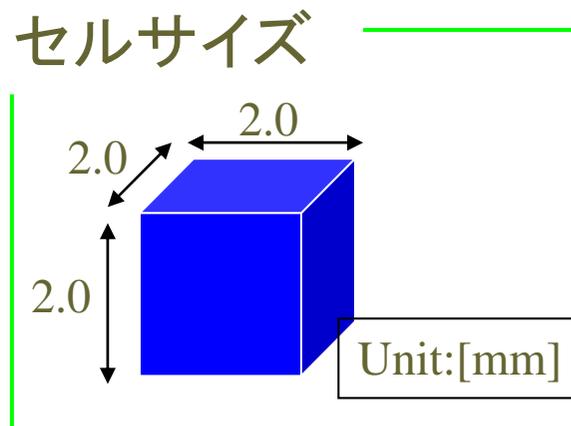
NRPB

NORMAN model, **1995**  
176 cm/ 73 kg/ 37



NICT

TARO model, **2002**  
173 cm/ 65 kg/ 51



# 高精度な日本人モデル

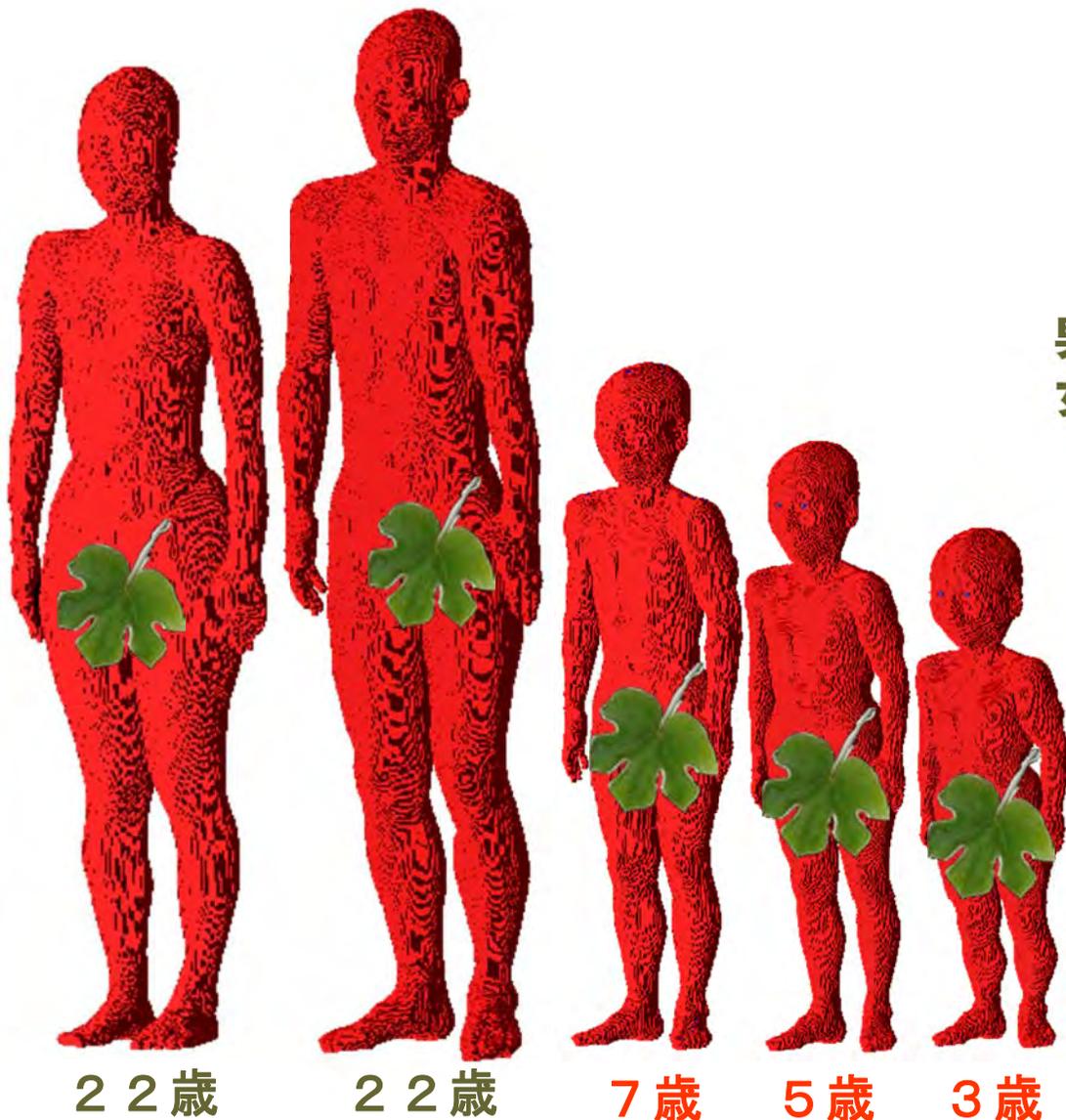
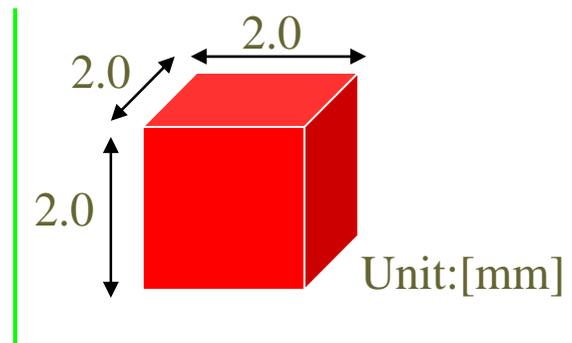
情報通信研究機構(NICT)開発  
成人:2002年 小児:2005年

生体組織数:51種類

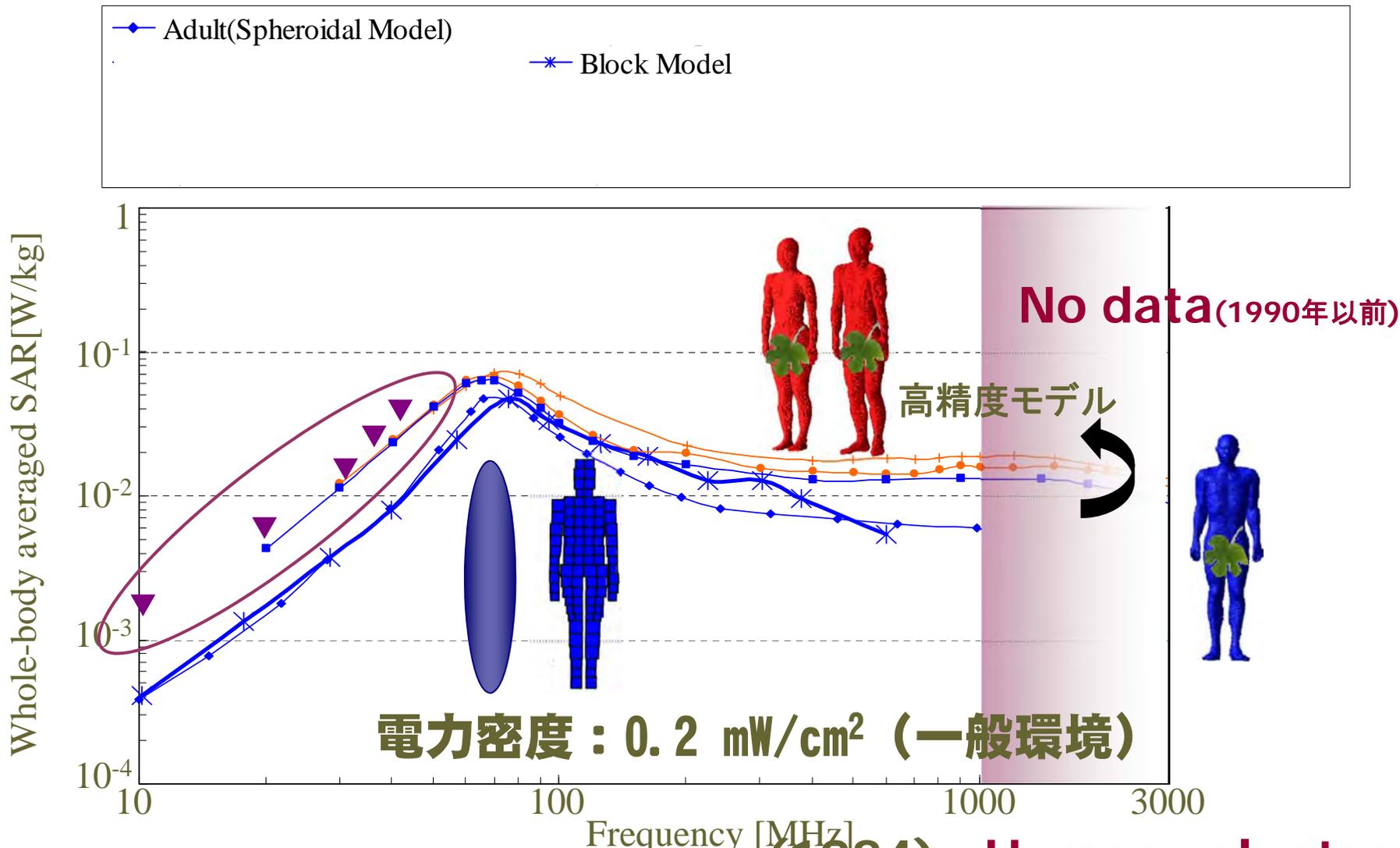
years Height[cm] Weight[kg]

男性	22	173	65
女性	22	161	53
	7	120	23
	5	105	17
	3	90	13

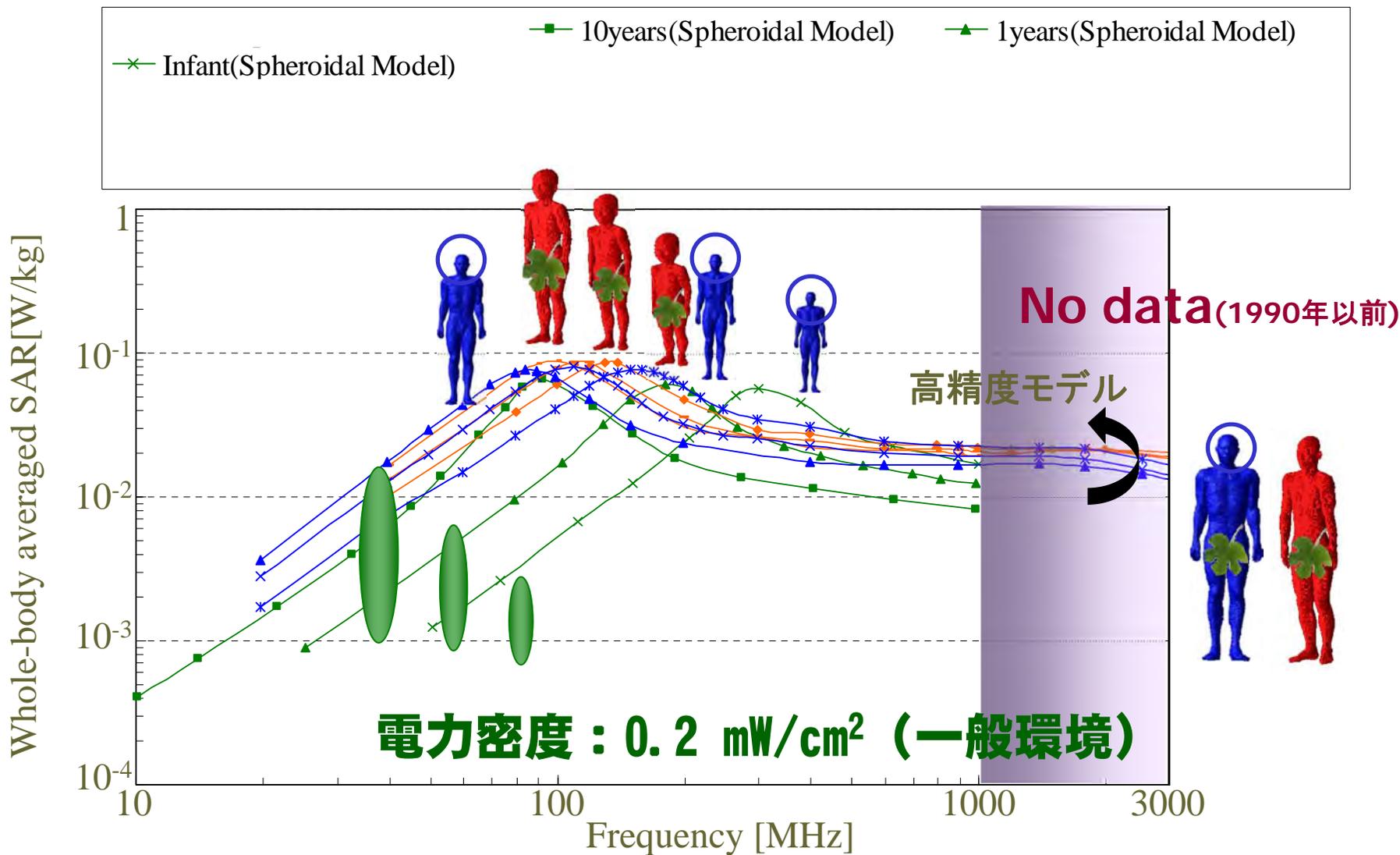
セルサイズ



# 成人モデルの全身平均SAR

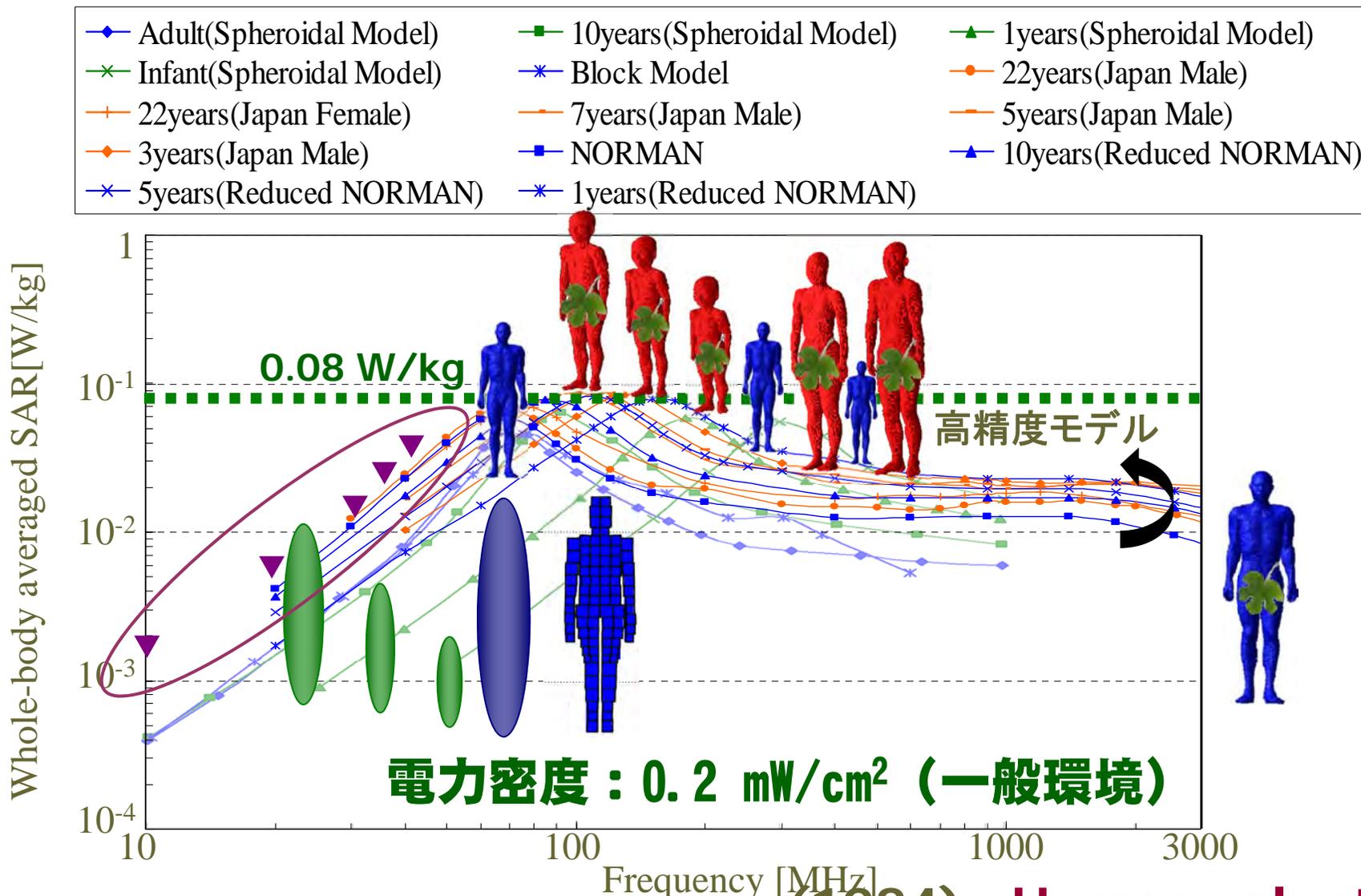


# 小児モデルの全身平均SAR



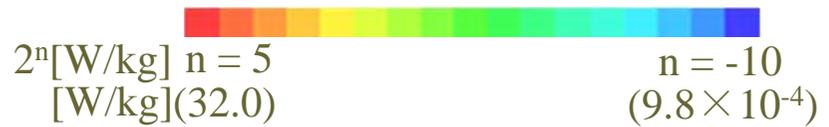
電波の安全性に関する説明会

主催：総務省中国総合通信局  
 共催：国立大学法人 山口大学  
 後援：山口県，宇部市，中国情報通信懇談会，山口県電波適正利用推進員協議会

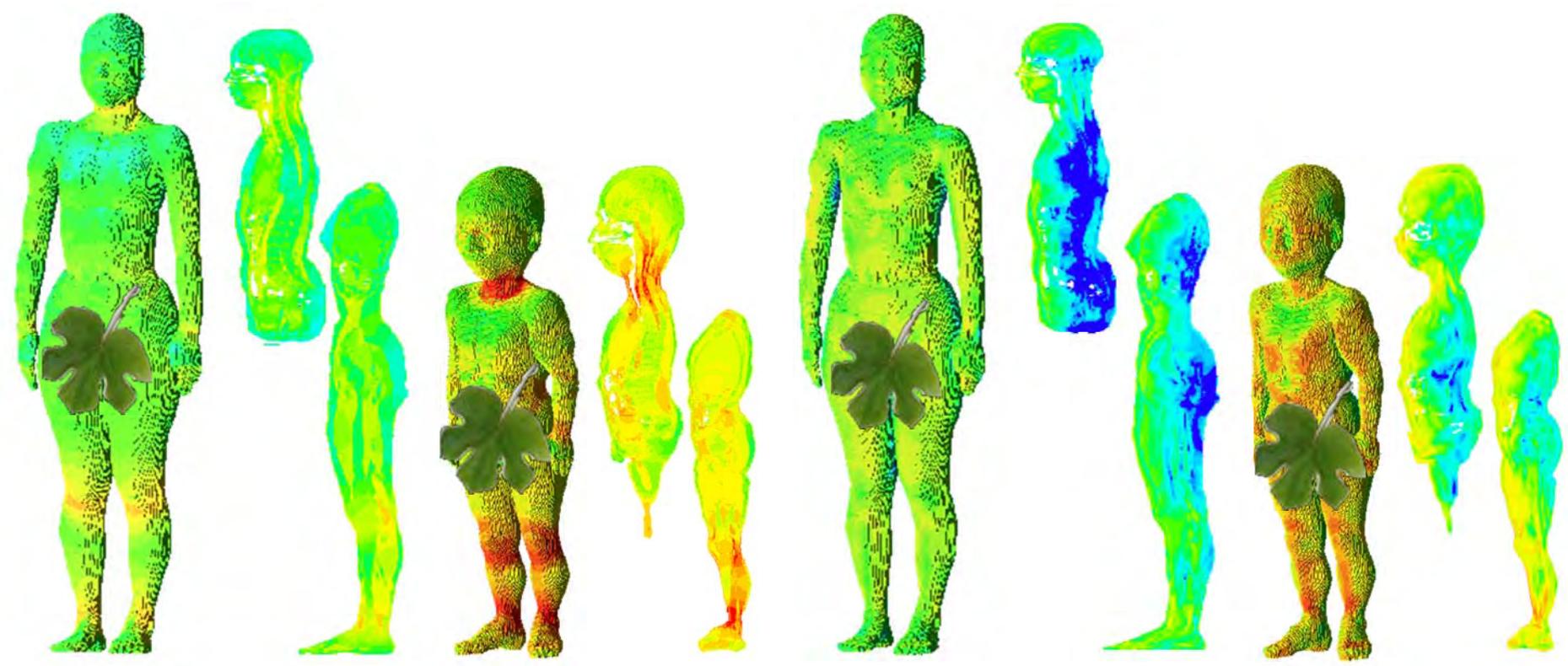


D.A.Hill, IEEE Trans. MTT-32, No.8, pp.772-778 (1984) : **Human volunteers**

# SARの体表・体内分布



全身平均SAR : 0.08W/kg



Female  
70 MHz

3-years  
130 MHz

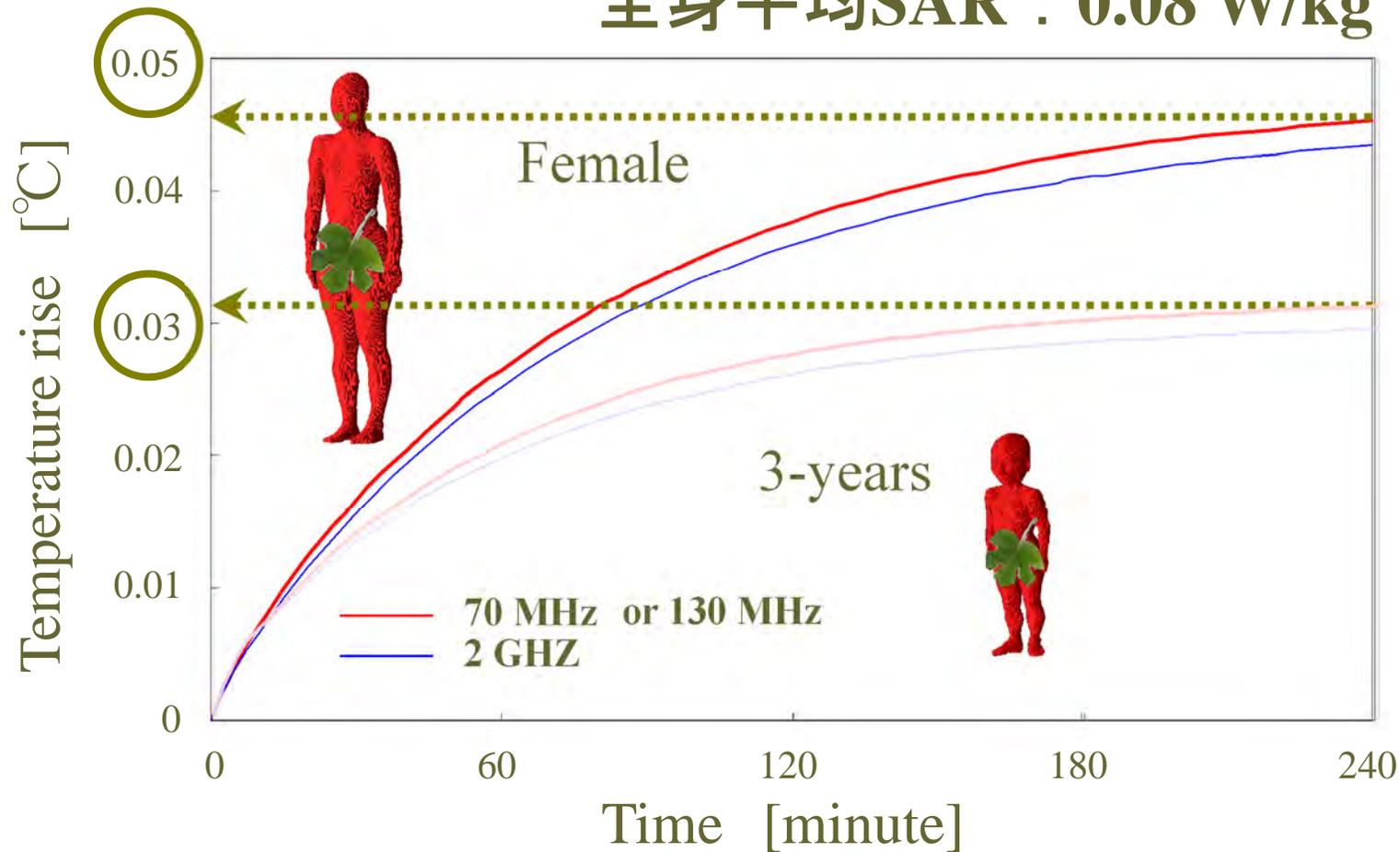
Female  
2.0 GHz

3-years  
2.0 GHz

# 体内深部温度上昇

基礎代謝からの推定値：0.04 ~ 0.08 °C

全身平均SAR：0.08 W/kg



電波の安全性に関する説明会

主催：総務省中国総合通信局  
共催：国立大学法人 山口大学  
後援：山口県，宇部市，中国情報通信懇談会，山口県電波適正利用推進員協議会

電波の局所ばく露



## 電波の局所ばく露



全身平均SAR << 0.08 W/kg

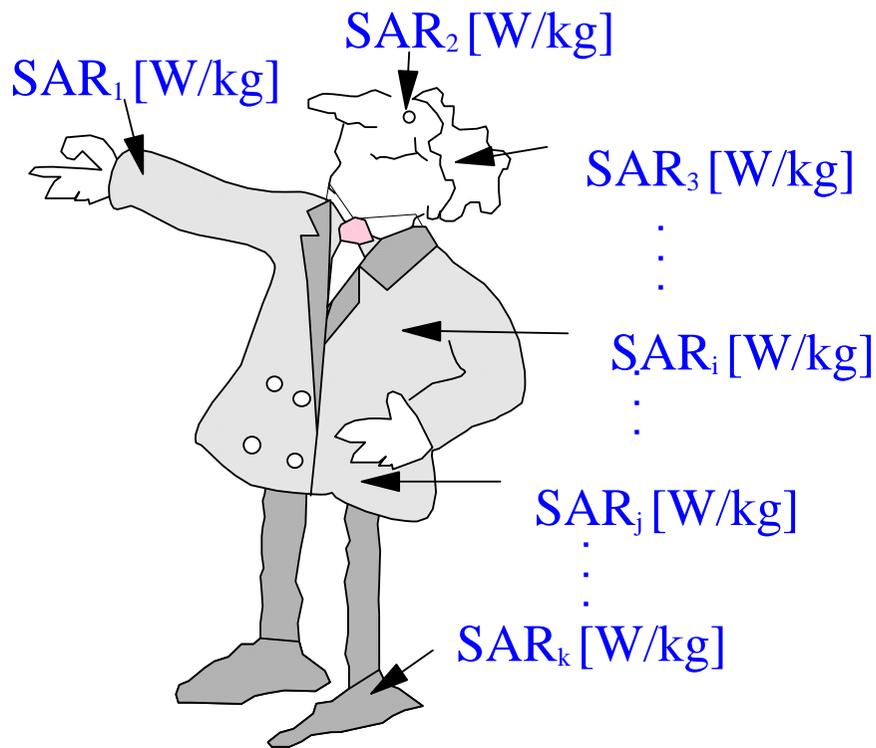
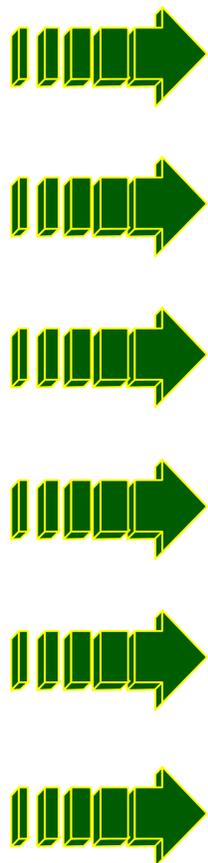
頭部平均SAR = 0.02 ~ 0.04 W/kg

局所平均SAR?

# 電波の全身ばく露

## 電波

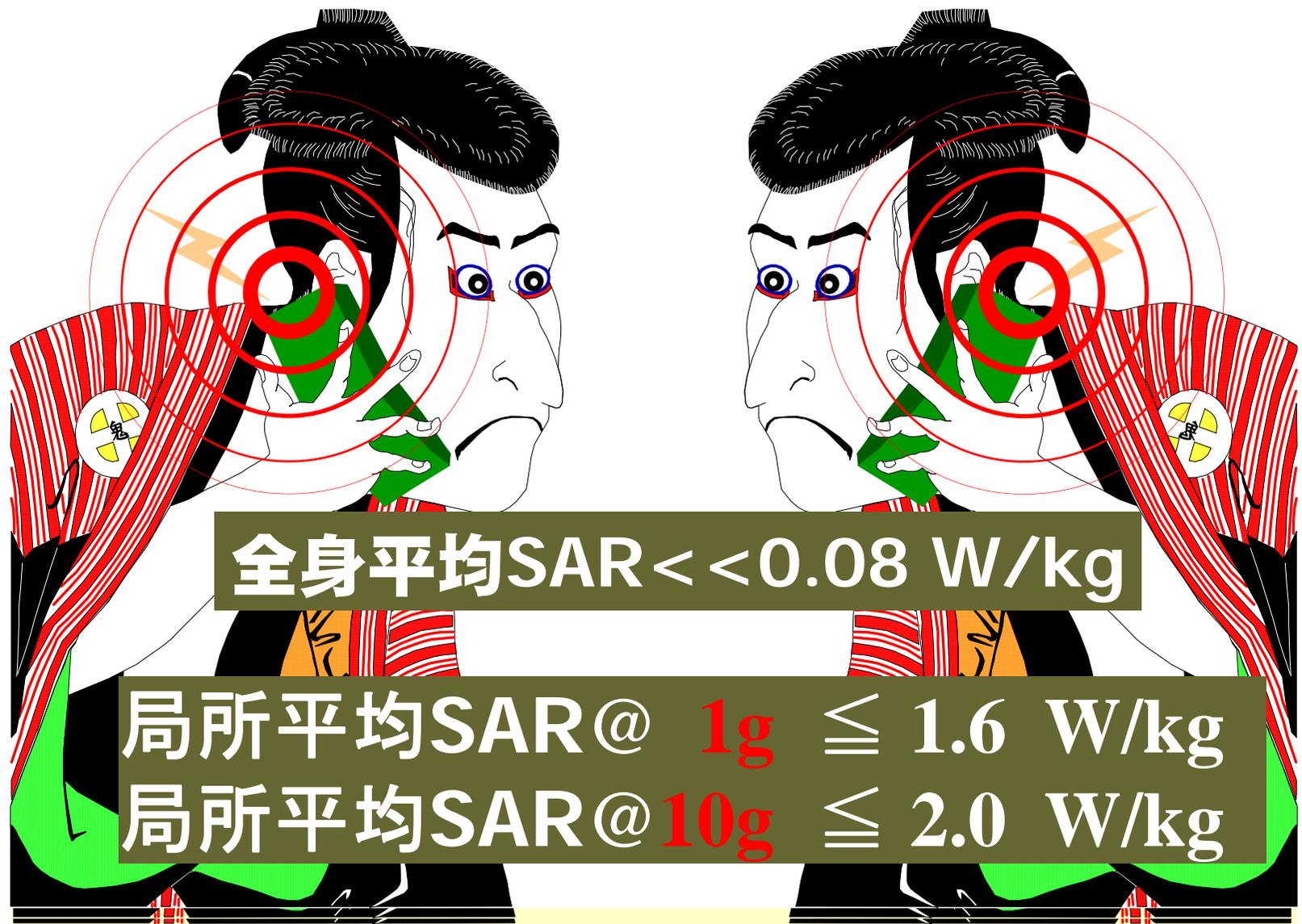
- ・ 電界[V/m]
- ・ 磁界[A/m]
- ・ 電力密度[mW/cm<sup>2</sup>]



**20倍！**

全身平均SAR [W/kg]  $\leq$  0.08 W/kg  
局所平均SAR[W/kg]  $\leq$  1.6 W/kg

# 電波の局所ばく露 - 続き



全身平均SAR << 0.08 W/kg

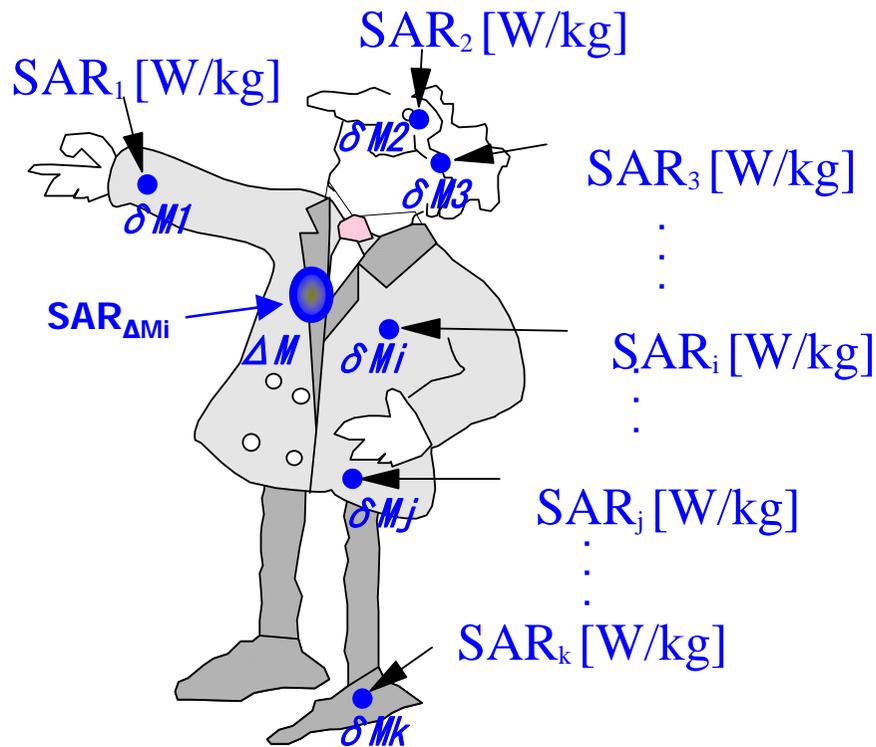
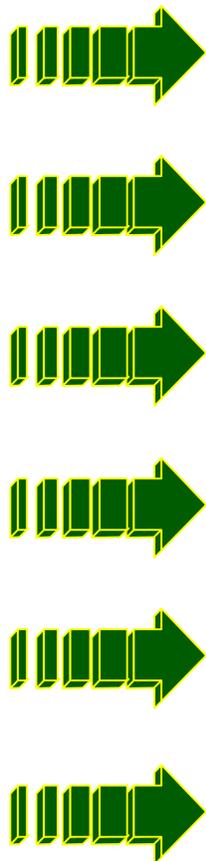
局所平均SAR @ 1g ≤ 1.6 W/kg

局所平均SAR @ 10g ≤ 2.0 W/kg

# 電波の全身平均SARと局所平均SAR

## 電波

- ・ 電界[V/m]
- ・ 磁界[A/m]
- ・ 電力密度[W/m<sup>2</sup>]



体重(質量) :  $M = \delta m_1 + \delta m_2 + \delta m_3 + \dots$  [kg]

**全身平均SAR** |  $_{80\text{kg}} = 0.08 \text{ W/kg}$   
 80 kgあたりの吸収電力が6.4 W

**局所平均SAR** |  $_{10\text{g}} = 2 \text{ W/kg}$   
 10 gあたりの吸収電力が20 mW

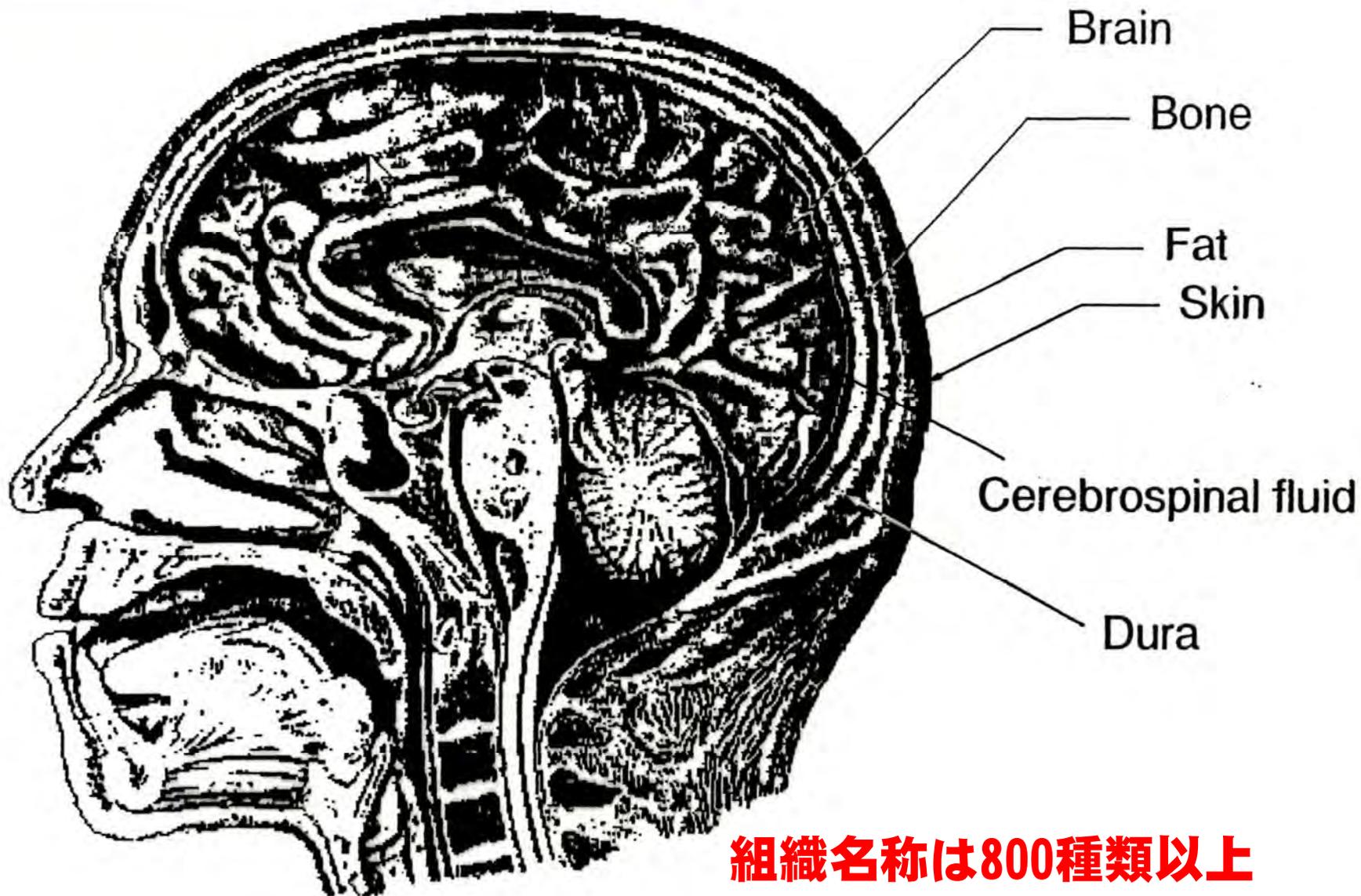
**全身平均SAR** |  $_M : \frac{SAR_1 \times \delta M_1 + SAR_2 \times \delta M_2 + SAR_3 \times \delta M_3 + \dots}{M (= \delta M_1 + \delta M_2 + \delta M_3 + \dots)}$  [W/kg]

**局所平均SAR** |  $_{\Delta M} : \frac{SAR_{\Delta 1} \times \delta m_1 + SAR_{\Delta 2} \times \delta m_2 + SAR_{\Delta 3} \times \delta m_3 + \dots}{\Delta M (= \delta m_1 + \delta m_2 + \delta m_3 + \dots)}$  [W/kg]

# 局所平均SARの規格・指針（一般環境）

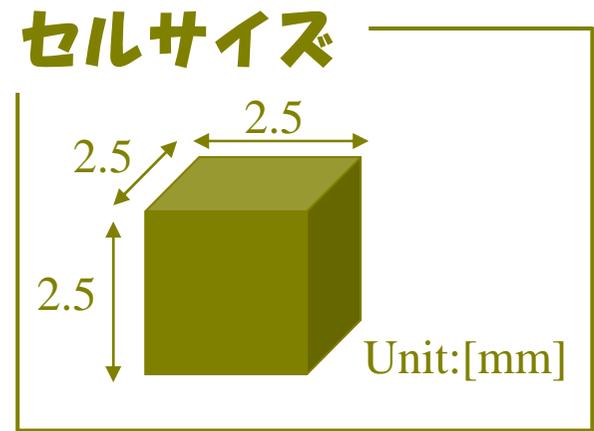
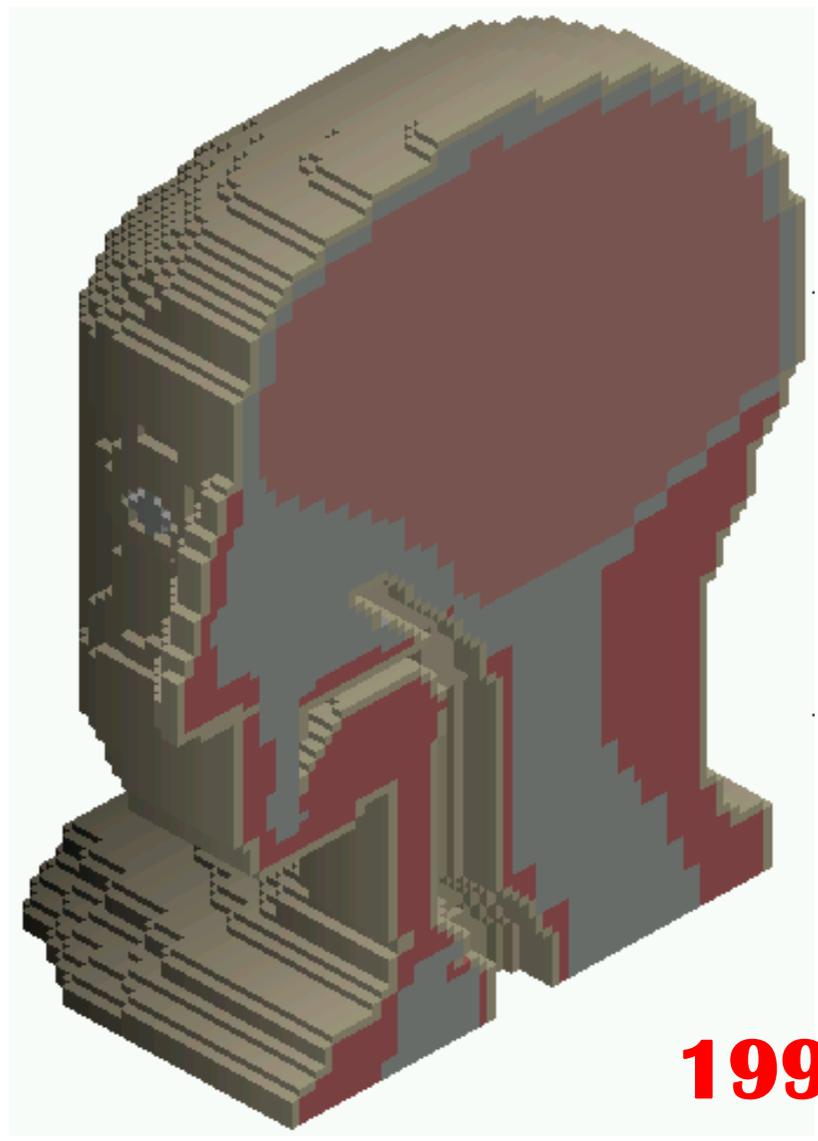
	総務省諮問 第89号答申	ICNIRP	FCC FCC92-326	IEEE C95.1-2005
公表	1997	1998	1996	2005
周波数	100 kHz – 3 GHz 6GHz@2011年改正	100 kHz – 10 GHz	100 kHz – 6 GHz	100 kHz – 3 GHz
局所平均 SAR	2 W/kg@10g 4 W/kg@四肢10g	2 W/kg@10g 4 W/kg@四肢10g	1.6 W/kg@1g 4 W/kg@四肢1g	2 W/kg@10g 4 W/kg@四肢10g
全身平均 SAR	0.08 W/kg	0.08 W/kg	0.08 W/kg	0.08 W/kg
規定時間	6分	6分	30分	6分
平均組織	任意	同質組織	立方体	立方体

# 手作りの日本人頭部モデル 1990 ~



組織名称は800種類以上

# 手作りの日本人頭部モデル - 続き



Tissue	Cell number
Skin	19,439
Muscle	31,886
Fat/Bone	41,602
Eyeball	752
Brain/Nerve	107,073
	<hr/>
	200,752

**1991, O. Fujiwara and A. Kato**

# 手作りの日本人頭部縮小モデル

藤原修，城向剛博，王建青：

電子情報通信学会誌，Vol. J83-B，No. 5，

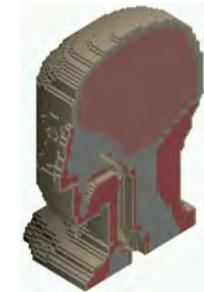
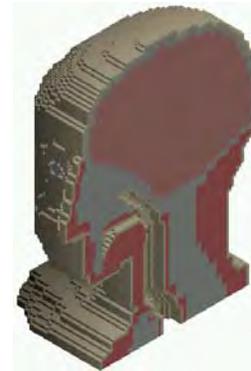
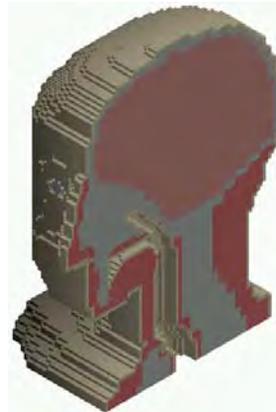
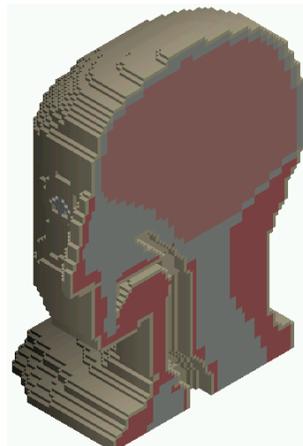
pp. 720-725 **2000年5月**

## Scaled-down Head Models

Adult

Infant

Same  
volume



9.3cm

**A**

17-years-old



8cm

**B**

3-years-old



7cm

**C**

5-month



6cm

**D**

1-month



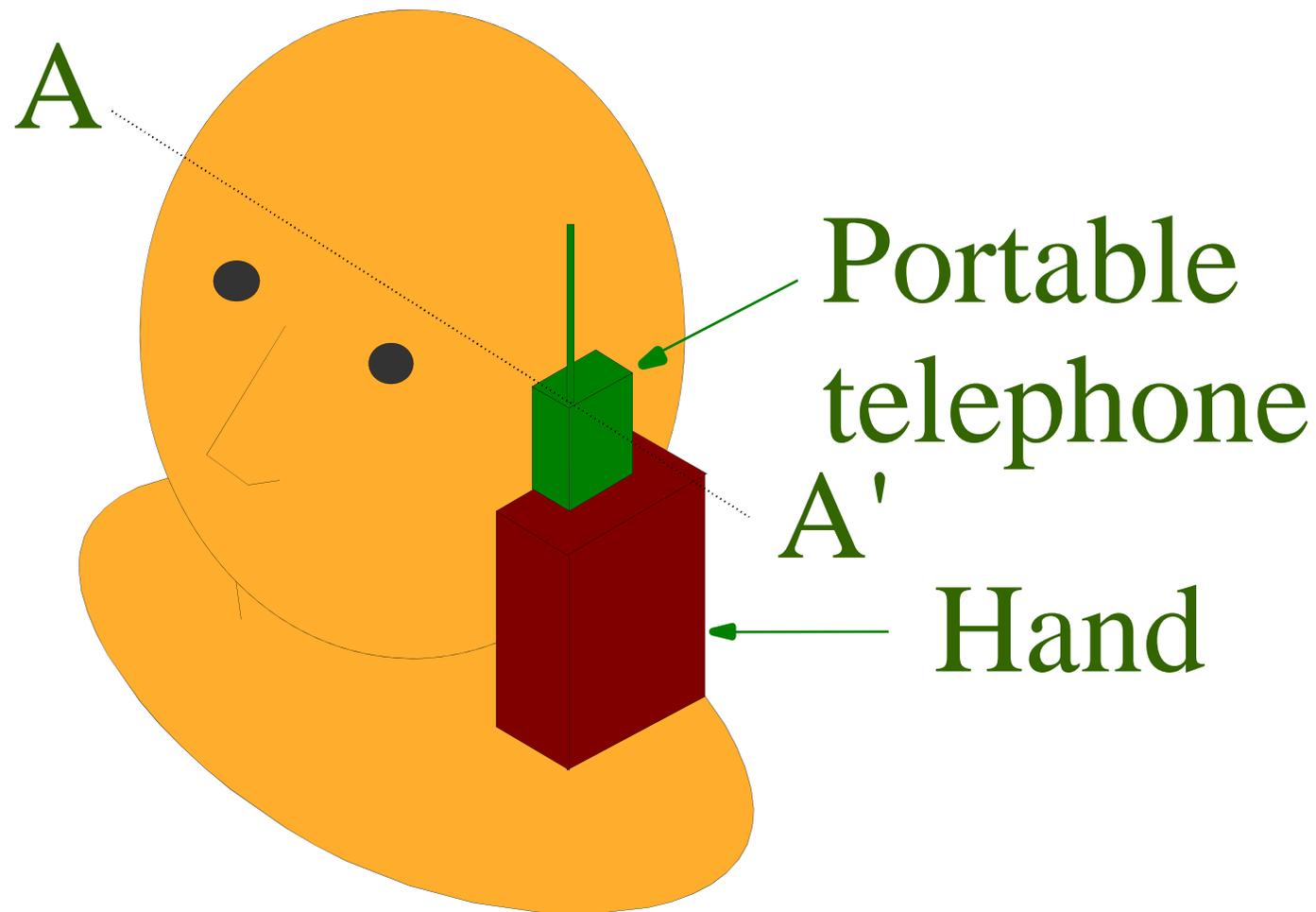
5cm

**E**

0-month

# 電波の安全性に関する説明会

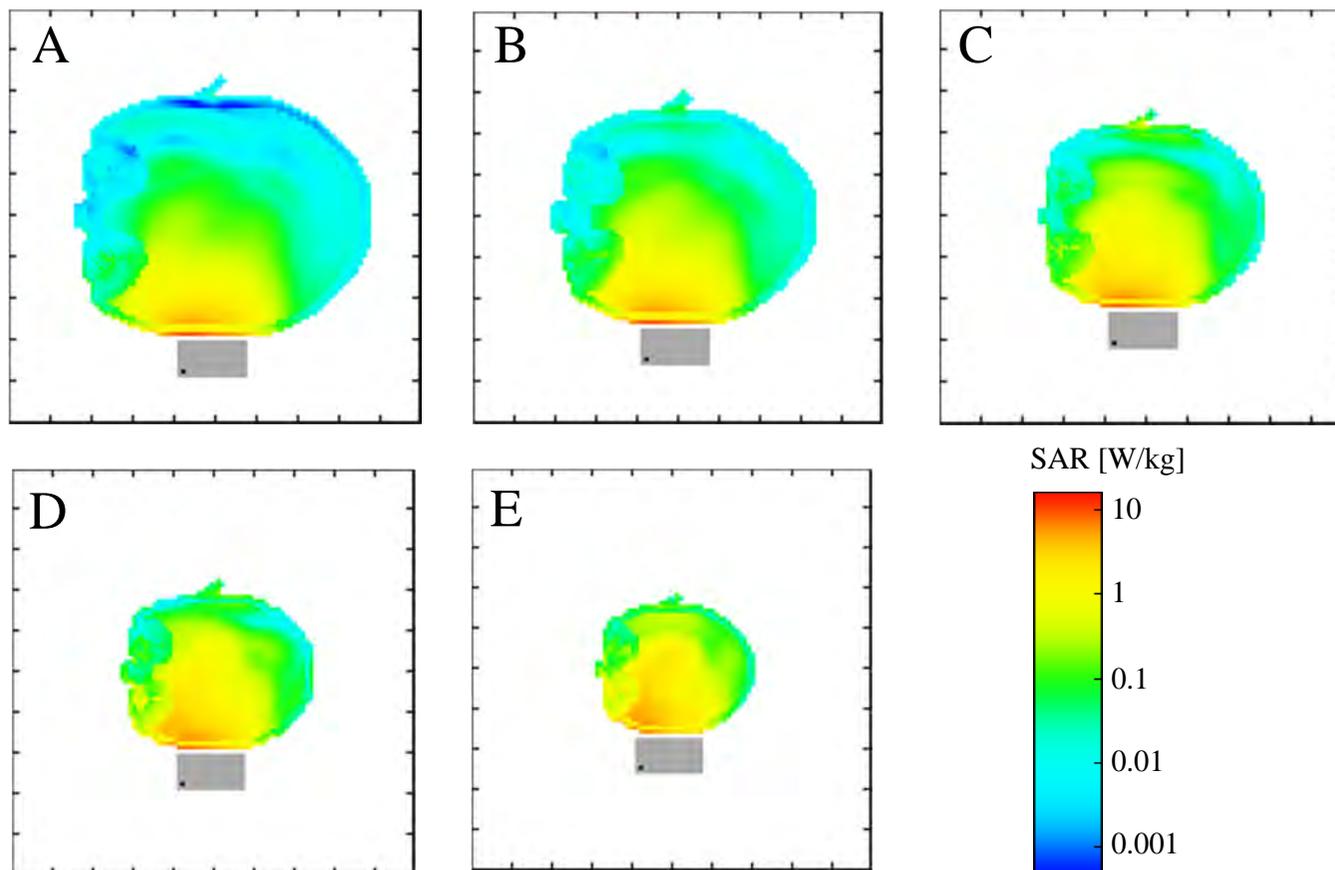
主催：総務省中国総合通信局  
共催：国立大学法人 山口大学  
後援：山口県、宇部市、中国情報通信懇談会、山口県電波適正利用推進員協議会



# SAR分布

900 MHz

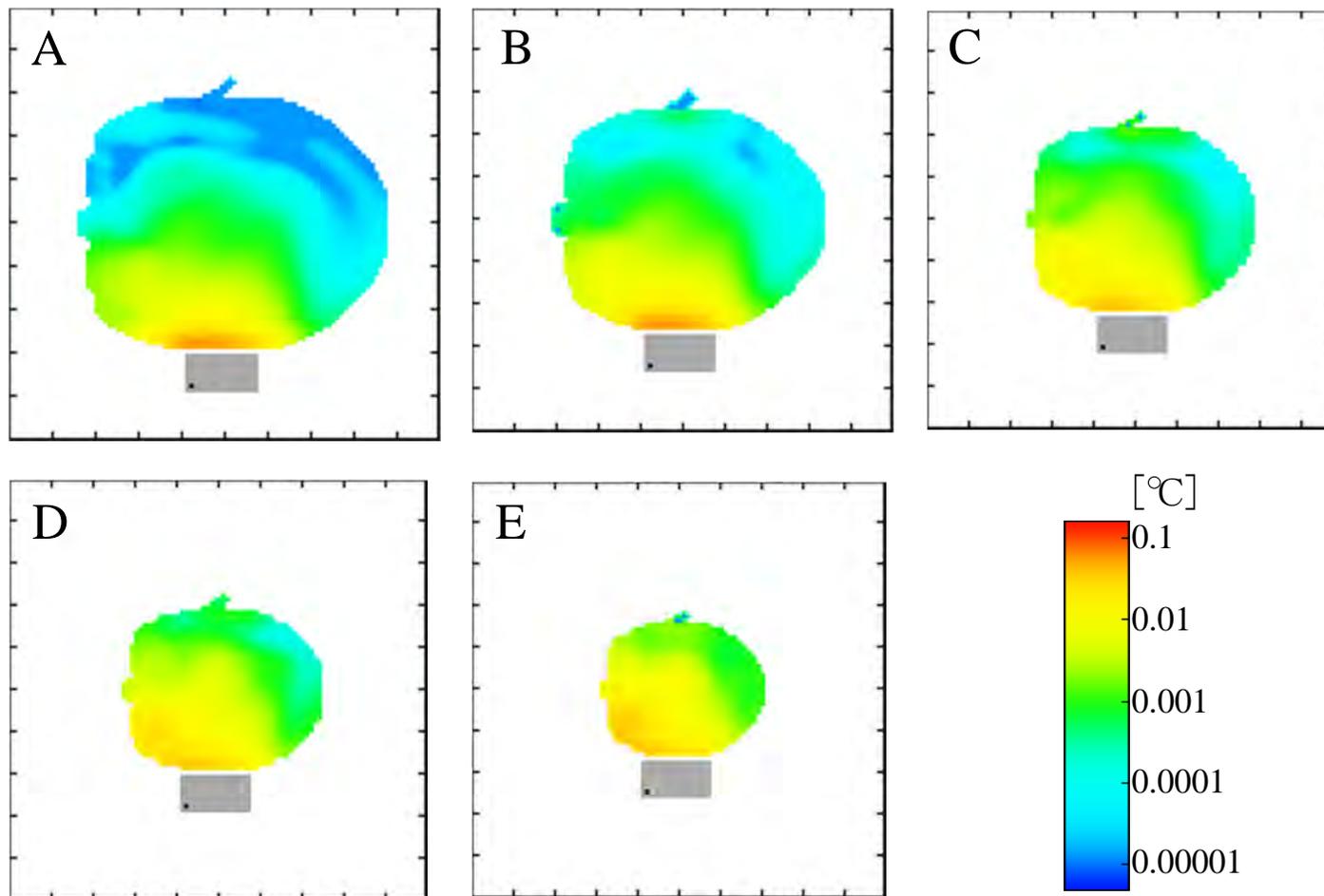
Antenna input power: 1 W



# 温度上昇分布

900 MHz

Antenna input power: 1 W

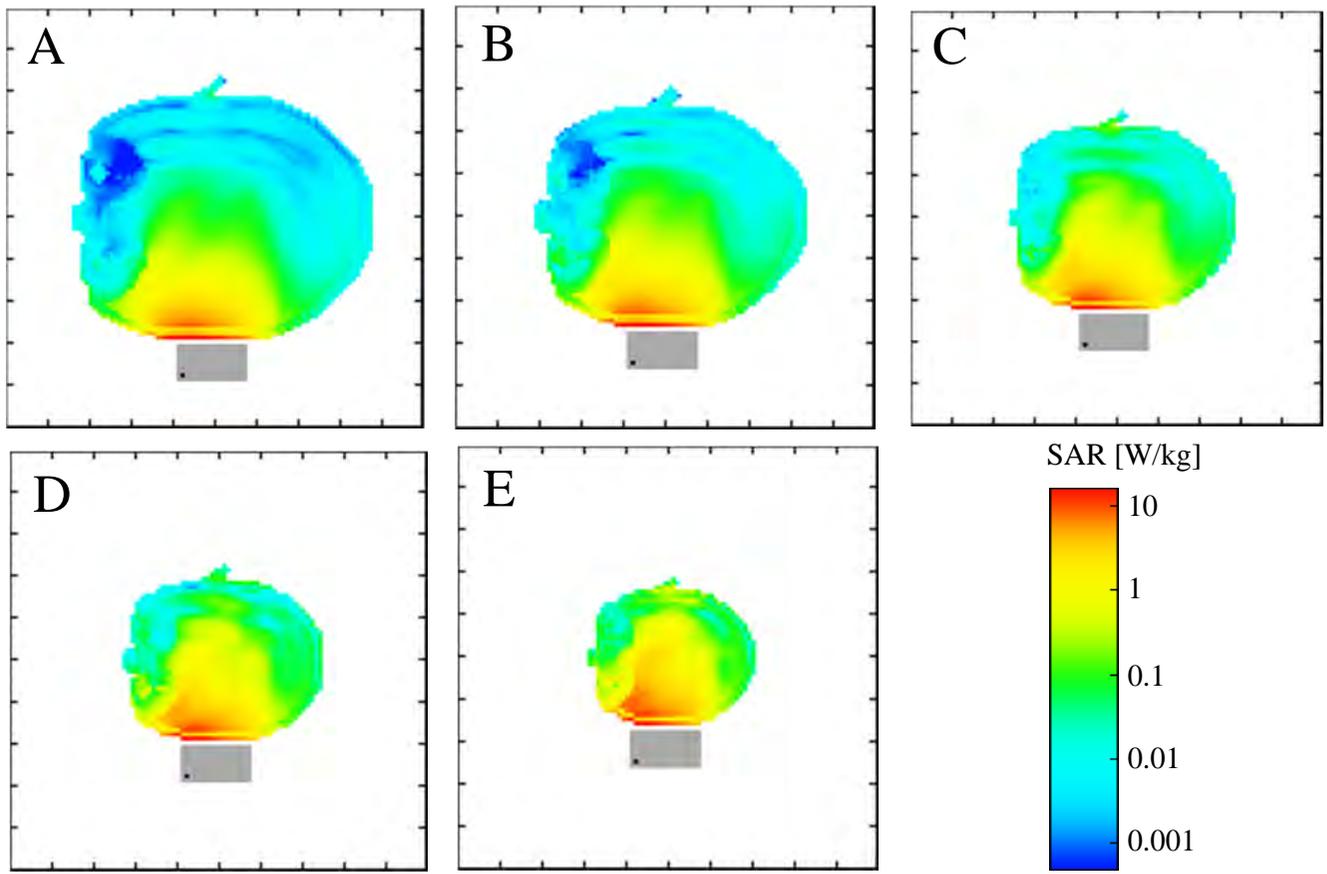


Deeper penetration with decreased head size

# SAR分布

1.5 GHz

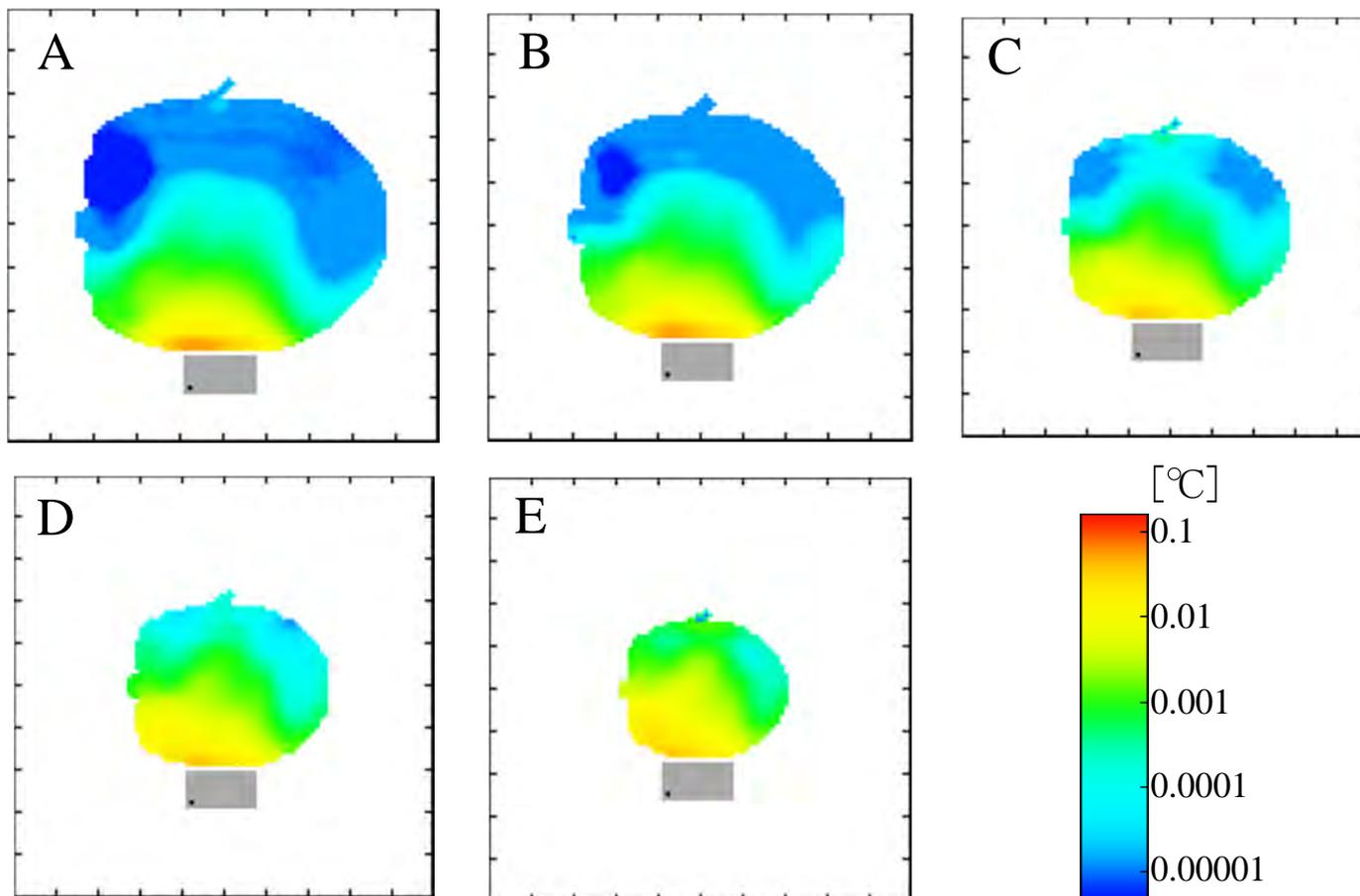
Antenna input power: 1 W



# 温度上昇分布

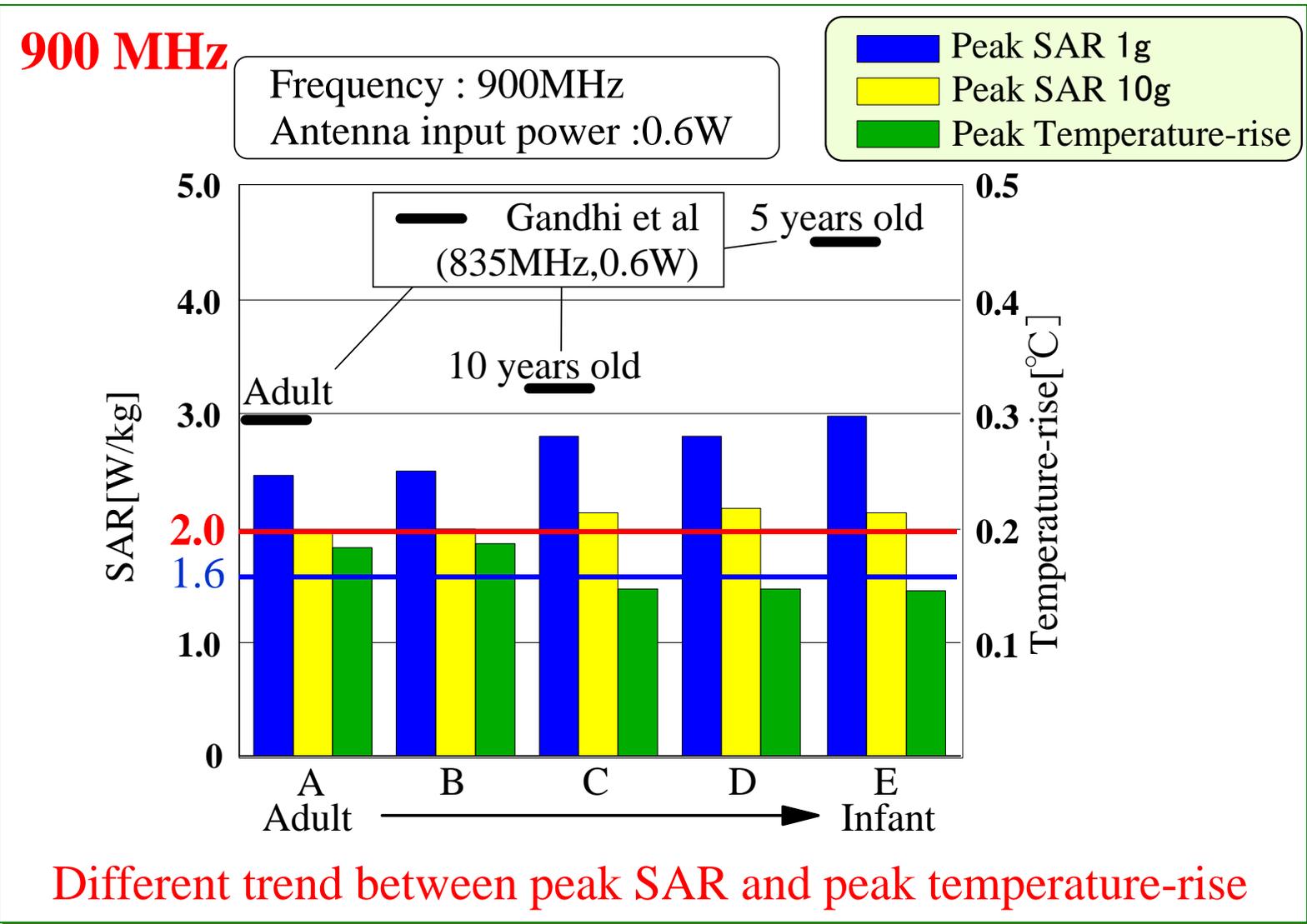
1.5 GHz

Antenna input power: 1 W



Deeper penetration with decreased head size

# ピークSARと温度上昇の頭部サイズ依存性

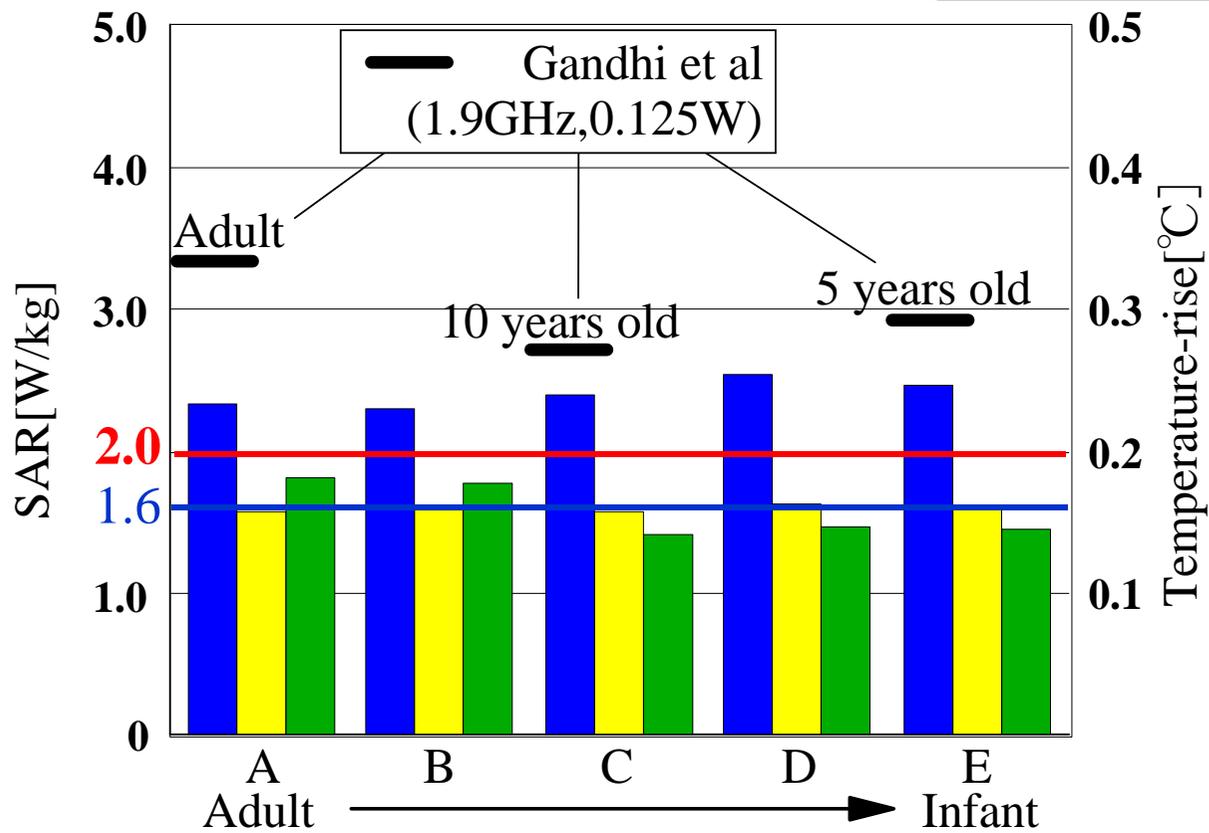


# ピークSARと温度上昇の頭部サイズ依存性

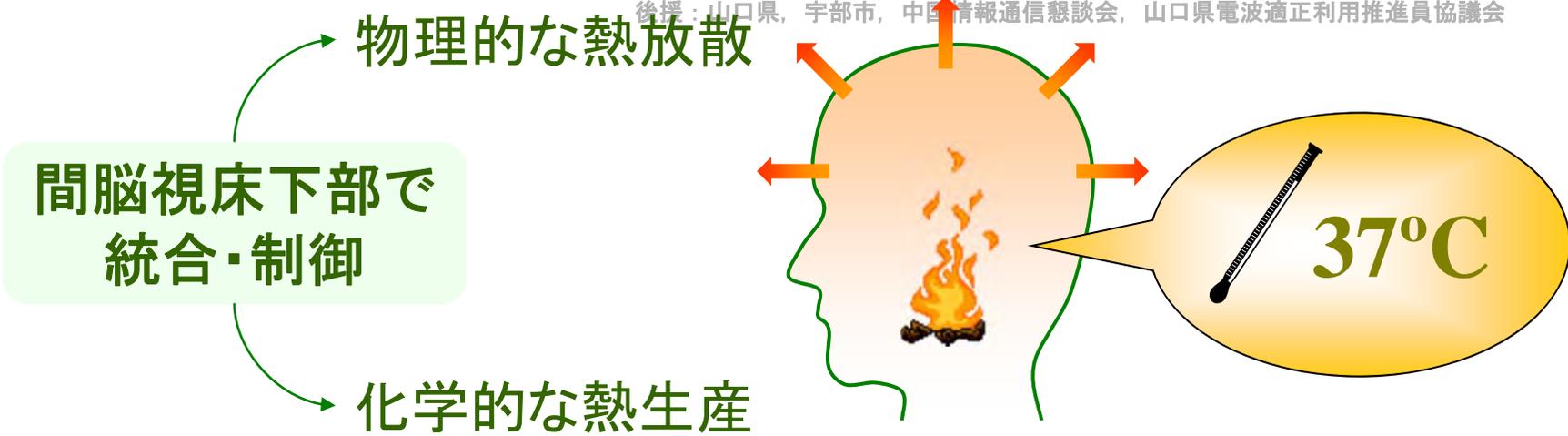
1.5 GHz

Frequency : 1.5GHz  
Antenna input power :0.27W

Peak SAR 1g  
Peak SAR 10g  
Peak Temperature-rise



Different trend between peak SAR and peak temperature-rise



## 視床下部温度

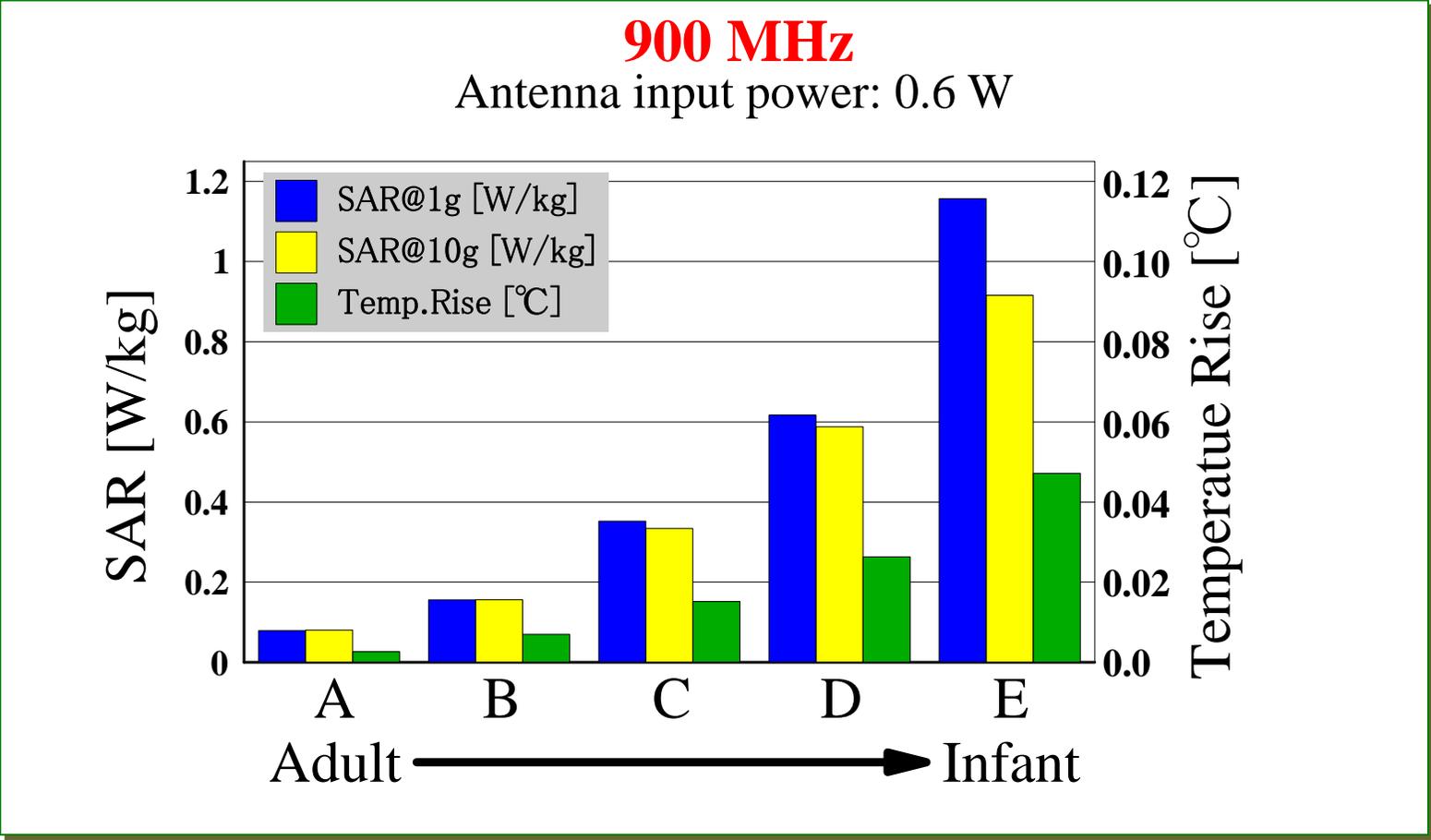
±0.3 °C



## 体温調節行動の誘発

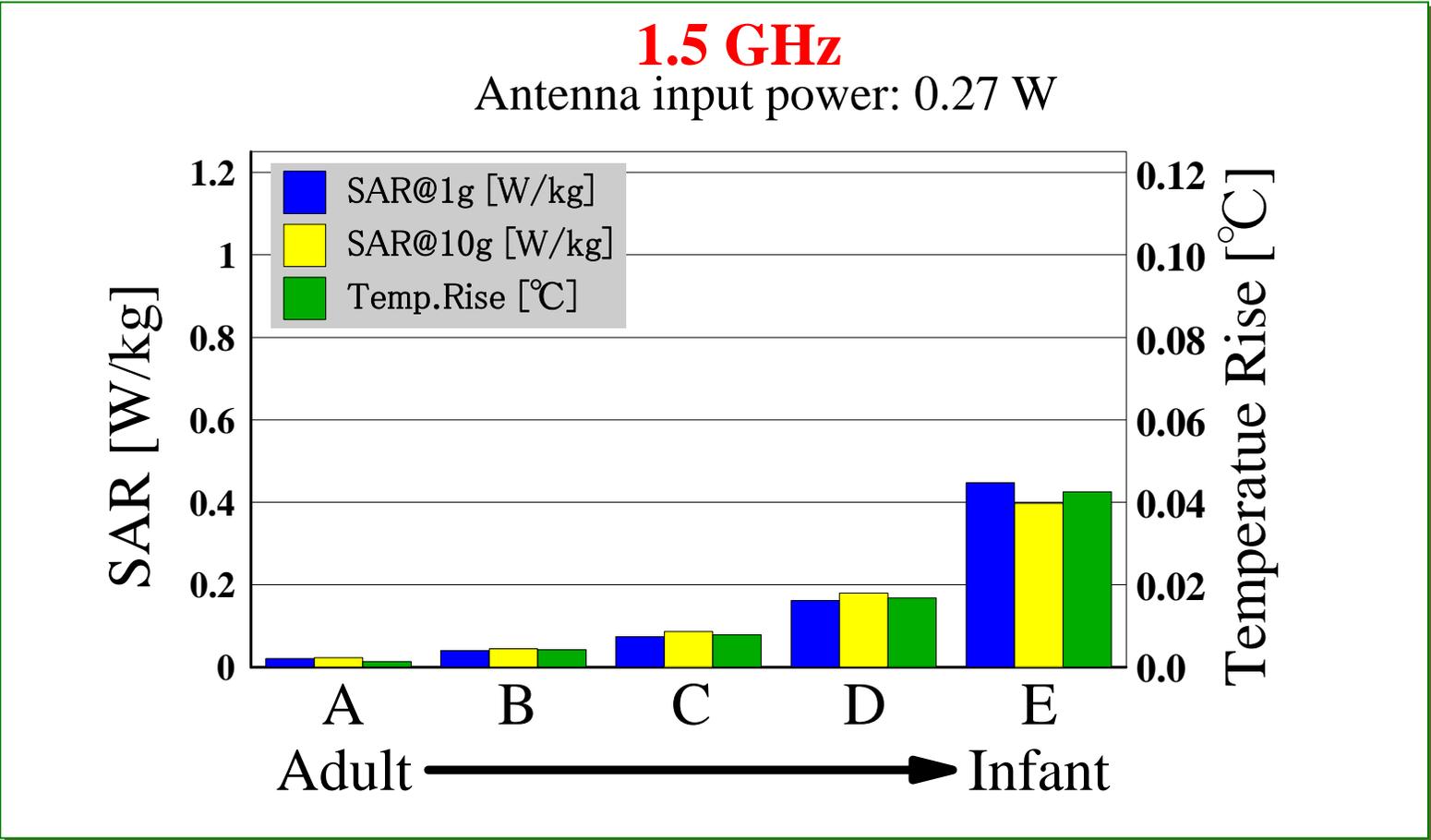
- 皮膚血管の拡張, 収縮
- 血流量の増加, 減少
- 呼気や発汗による水分蒸発

# 視床下部のSARと温度上昇の頭部サイズ依存性



Good correlation between the peak SAR and peak temperature-rise at the hypothalamus

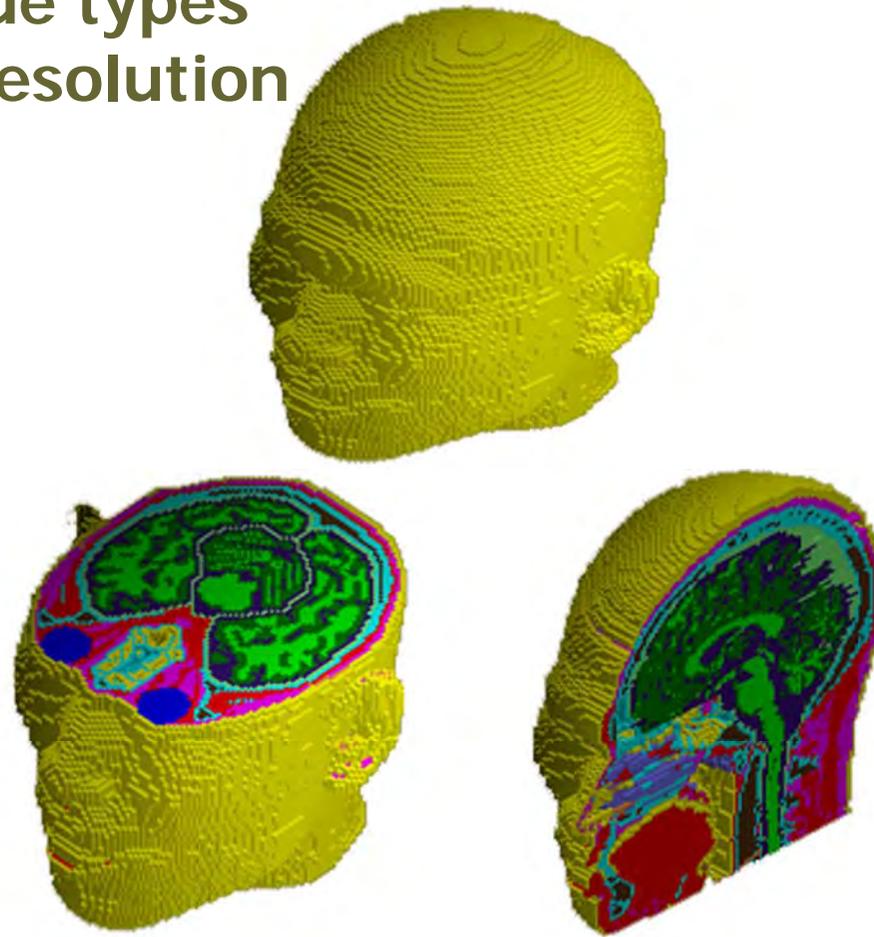
# 視床下部のSARと温度上昇の頭部サイズ依存性



Good correlation between the peak SAR and peak temperature-rise at the hypothalamus

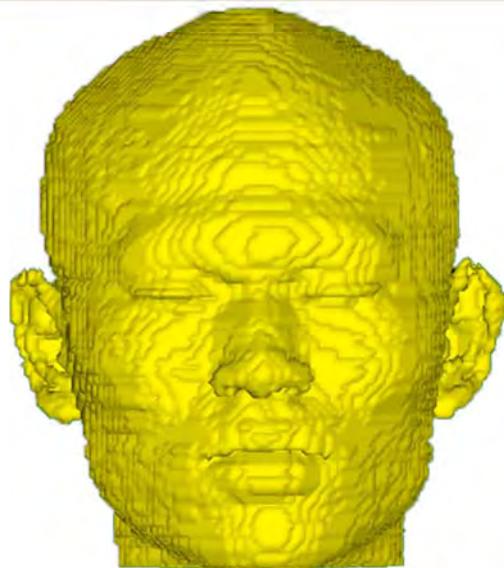
# 高精度な日本人頭部モデル

17 tissue types  
2 mm resolution

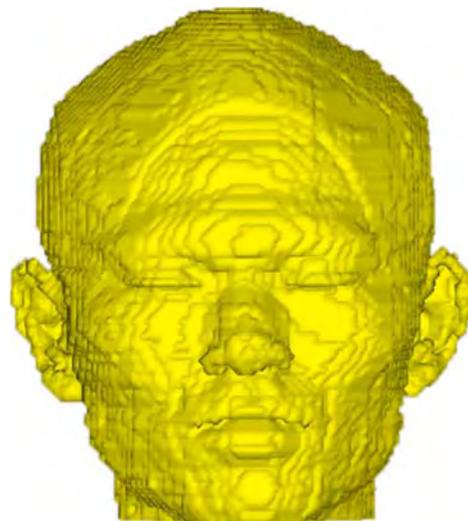


**1999, O.Fujiwara, et al.**

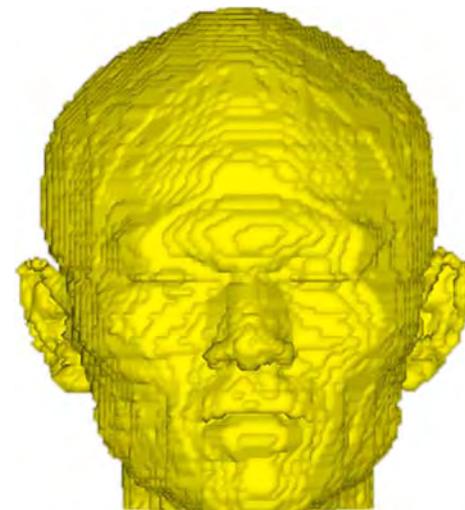
## 高精度な日本人頭部モデル - 続き



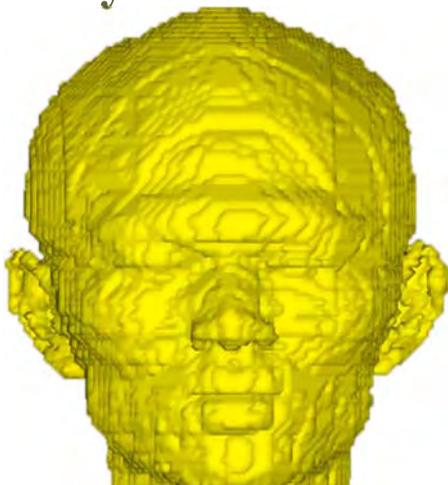
23-year-old head



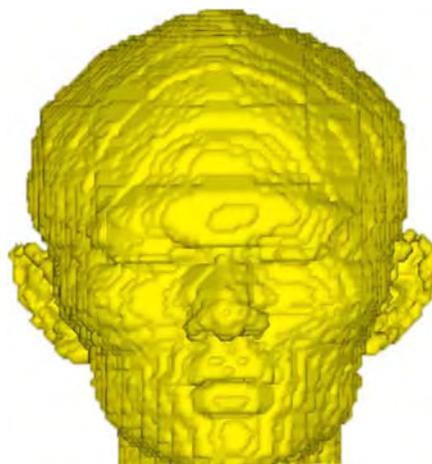
12-year-old head



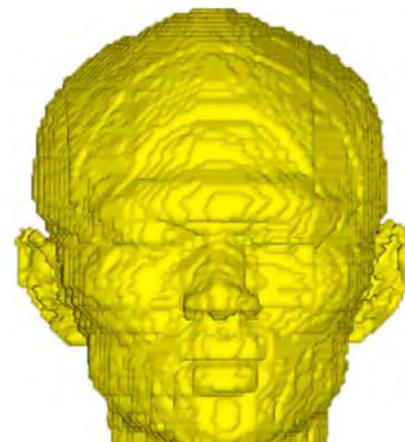
10-year-old head



7-year-old head



5-year-old head

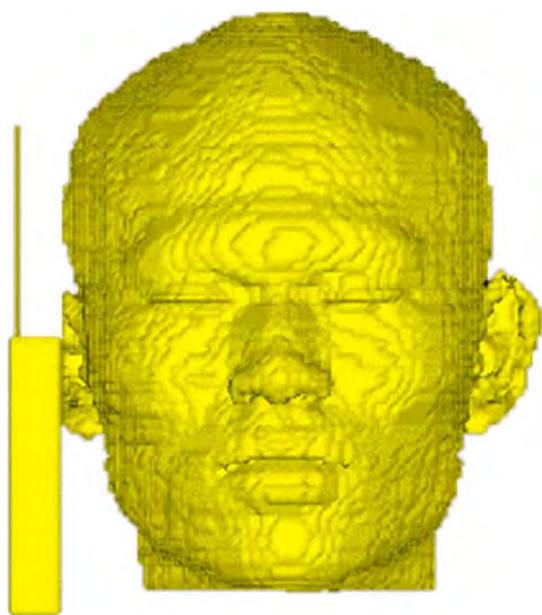


3-year-old head

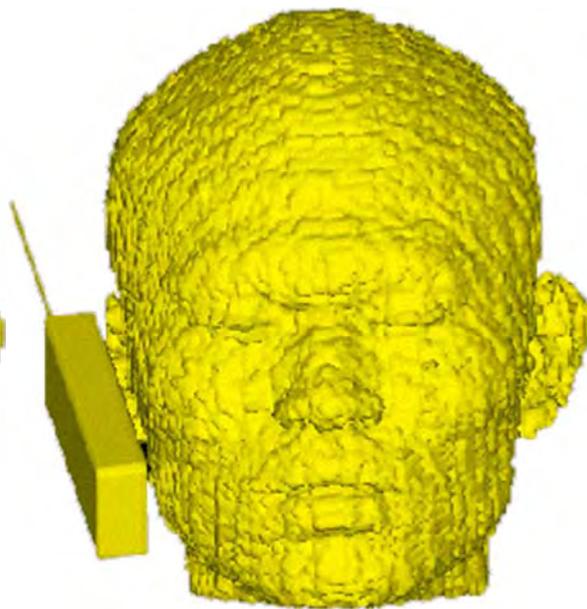
## 電波の安全性に関する説明会

主催：総務省中国総合通信局  
共催：国立大学法人 山口大学  
後援：山口県，宇部市，中国情報通信懇談会，山口県電波適正利用推進員協議会

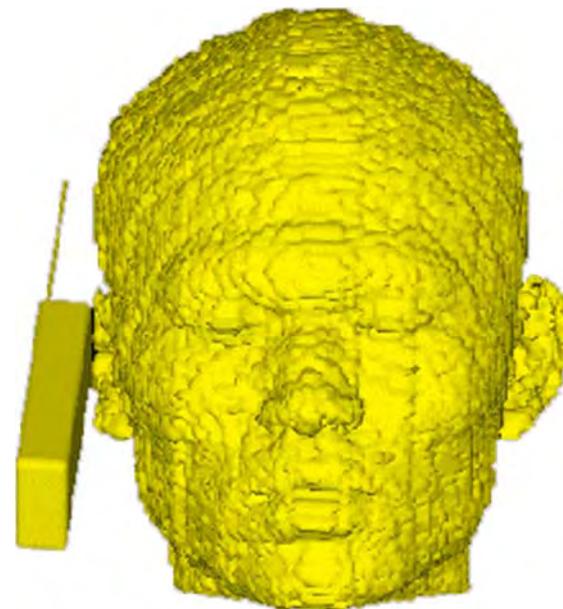
周波数 900MHz  
アンテナ出力電力 0.27 W  
 $\lambda/4$ モノポールアンテナ



Vertical position



Cheek position

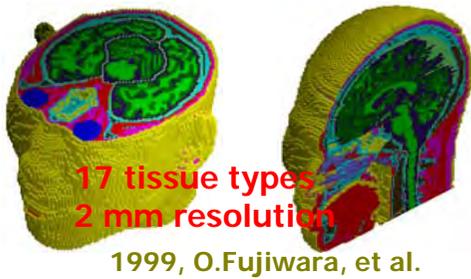


Tilted position

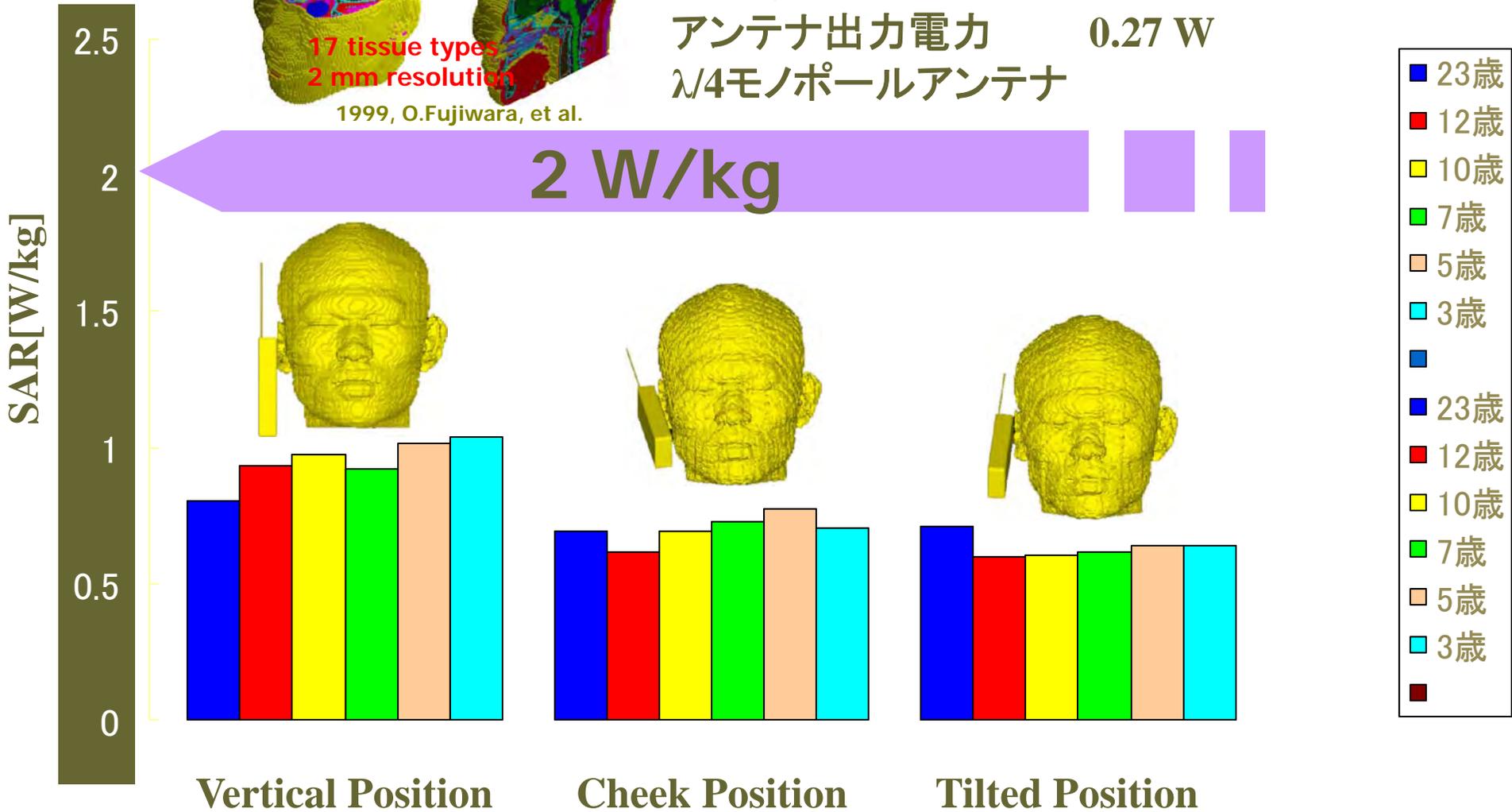
# 10グラム局所平均ピークSAR

藤原修，王建青，久田智視，渡辺聡一，  
 山中幸雄：電子情報通信学会誌，

Vol. J86-B, No. 7, pp. 1219-1224 **2003年7月**



周波数 **900 MHz**  
 アンテナ出力電力 **0.27 W**  
 λ/4モノポールアンテナ



# Environmental Health Criteria Monograph (Draft)

Electromagnetic fields (EMF)

Radio Frequency fields: Environmental Health Criteria Monograph (Draft)

Consultation on the scientific review for the upcoming WHO Environmental Health Criteria

The consultation is open until **15 November 2014**

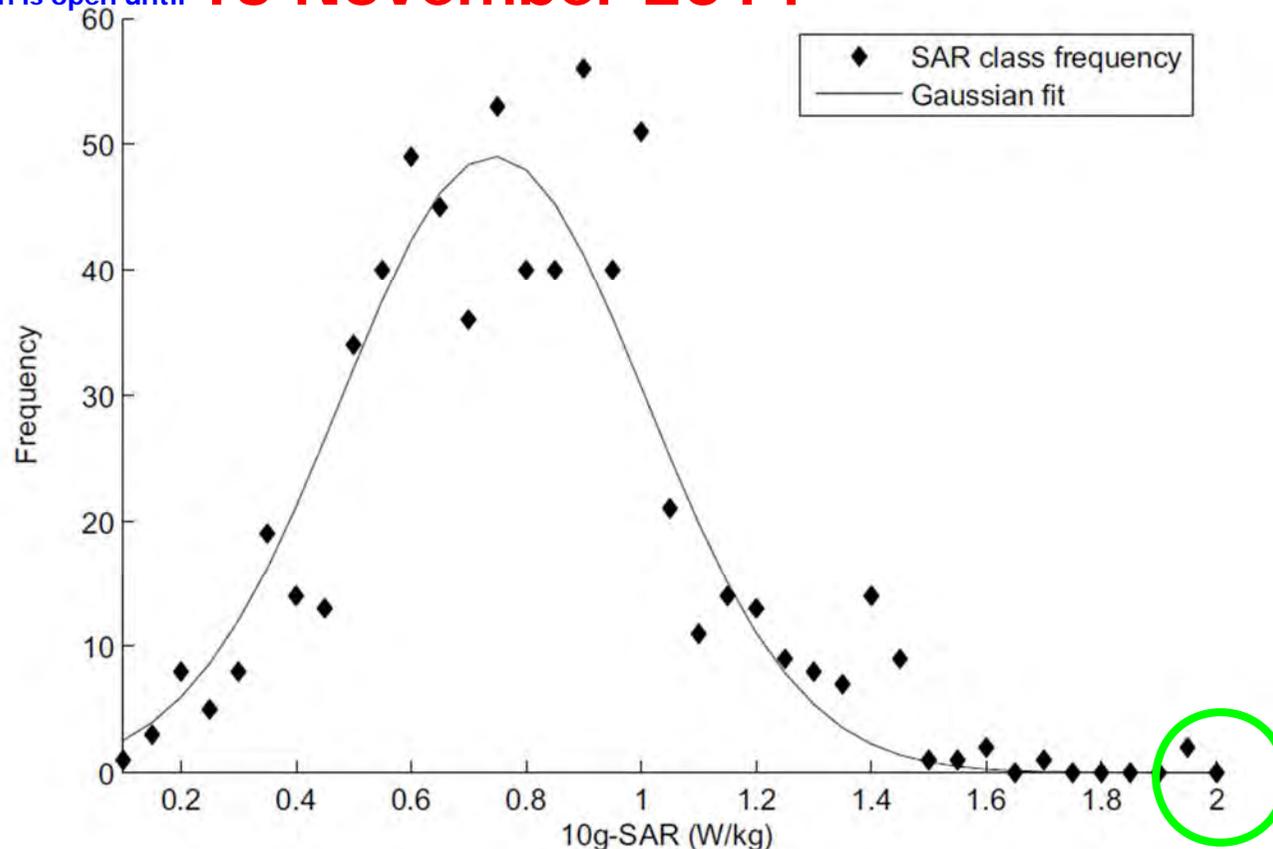


Figure 2.20. Statistical distribution of maximum **10 g averaged** measured for **668 mobile phones** according to 1185 standard EN50361 (CENELEC, 2001). Data from German Federal Office for Radiation Protection, in Kühn & 1186 Kuster (2007).

# 電波の人体に及ぼす影響と安全性 ～ 電波防護指針の考え方と根拠, 検証 ～

日時 平成28年10月12日（水）

場所 山口大学 工学部 D11教室(山口県宇部市)

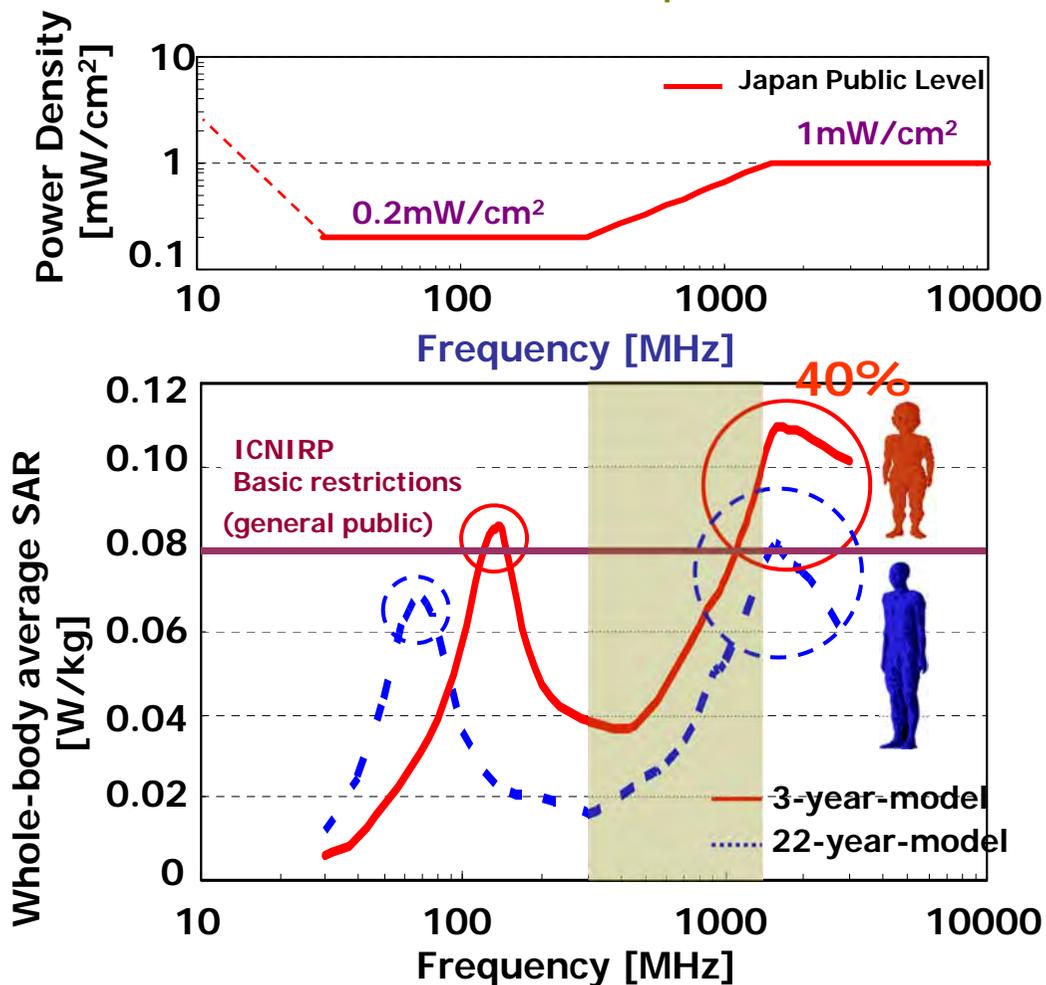
藤原 修（電気通信大学 / 名古屋工業大学）

- ✓プロローグ
- ✓EMCとは
- ✓電磁波と人体影響
- ✓人体防護基準
- ✓基準根拠の明確化
- ✓**基準根拠の検証**
- ✓エピローグ

# 小児の全身平均SARが指針値を超える？

Jianqing Wang, Osamu Fujiwara, Sachiko Kodera and Soichi Watanabe:  
Phys. Med. Biol.51(2006)4119-4127

An example of SAR calculation result for Japanese adult and child models



# ICNIRPの全身平均SARに対する見解

## 1998年の声明

### 原文

“Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)”,  
International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Health Phys., 74(4), pp.494-522, 1998.

Reference levels of exposure are provided for comparison with measured values of physical quantities; **compliance with all reference levels given in these guidelines will ensure compliance with basic restrictions.** If measured values are higher than reference levels, it does not necessarily follow that the basic restrictions have been exceeded, but a more detailed analysis is necessary to assess compliance with the basic restrictions.

**全ての参考レベルを遵守することで、  
基本制限を満たす**

### 訳文

<http://wwwsoc.nii.ac.jp/jhps/j/information/nonioniz/icnirp.html>

(この翻訳は、ICNIRP委員である東京都立大学工学部の多氣昌生 教授 の好意によって提供されたものです。)

ばく露参考レベルは物理量の計測値との比較のために設けられたもので、**この指針に示す全ての参考レベルが満たされれば基本制限が満たされたことになる。** また計測値が参考レベルより高い場合でも、これは必ずしも基本制限を超えていることにはならず、基本制限を満たしているかどうかを評価するためにより詳細な分析を必要と判断されるだけである。

## ICNIRPの全身平均SARに対する見解 ー続き

### 最近(2009年)の声明

#### 原文

“Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)”, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Health Phys.,97(3), pp.257-258, 2009.

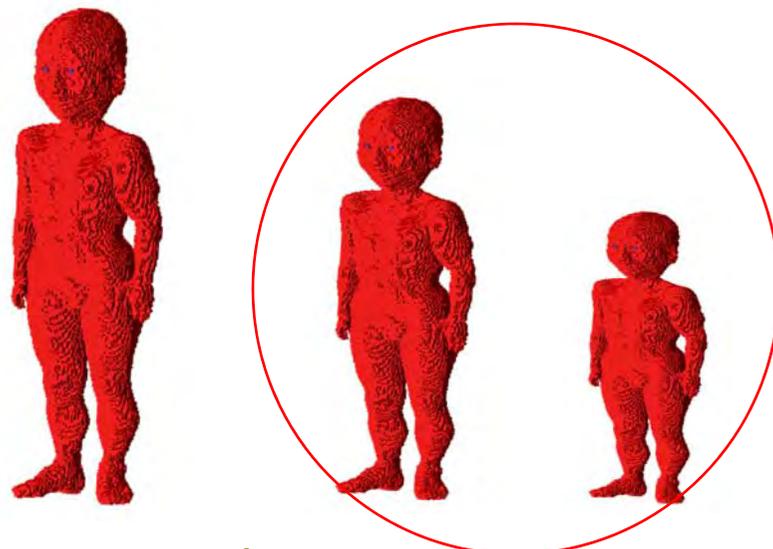
Some published studies (Wang et al. 2006; Dimbylow and Bolch 2007; Conil et al. 2008; Nagaoka et al. 2008; Kuehn et al. 2009) showed that in the frequency ranges of body resonance (100 MHz) and from 1 to 4 GHz for bodies shorter than 1.3 m in height (corresponding approximately to children aged 8 y or younger) at the recommended reference level the induced SARs could be up to 40% higher than the current basic restriction under worst-case conditions. However, this is negligible compared with the large reduction factor of 50 (5,000%) for the general public.

動物実験における閾値(4W/kg)に対する  
公衆ばく露の基本制限(0.08W/kg)

現行の基本制限を40%上回る可能性が報告されているが  
公衆ばく露に対する5000%(50倍)の低減係数と比較  
すれば無視できる

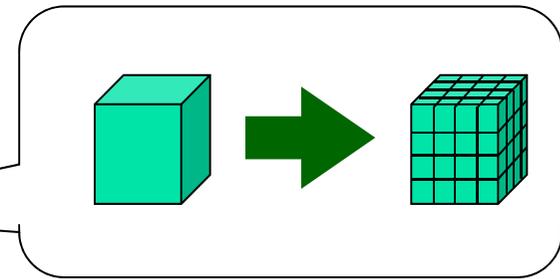
# 乳幼児モデルの構築

- ✓ 3 years old: developed by NICT from MRI data
- ✓ 9 months and new-born: scaled from 3 years old model

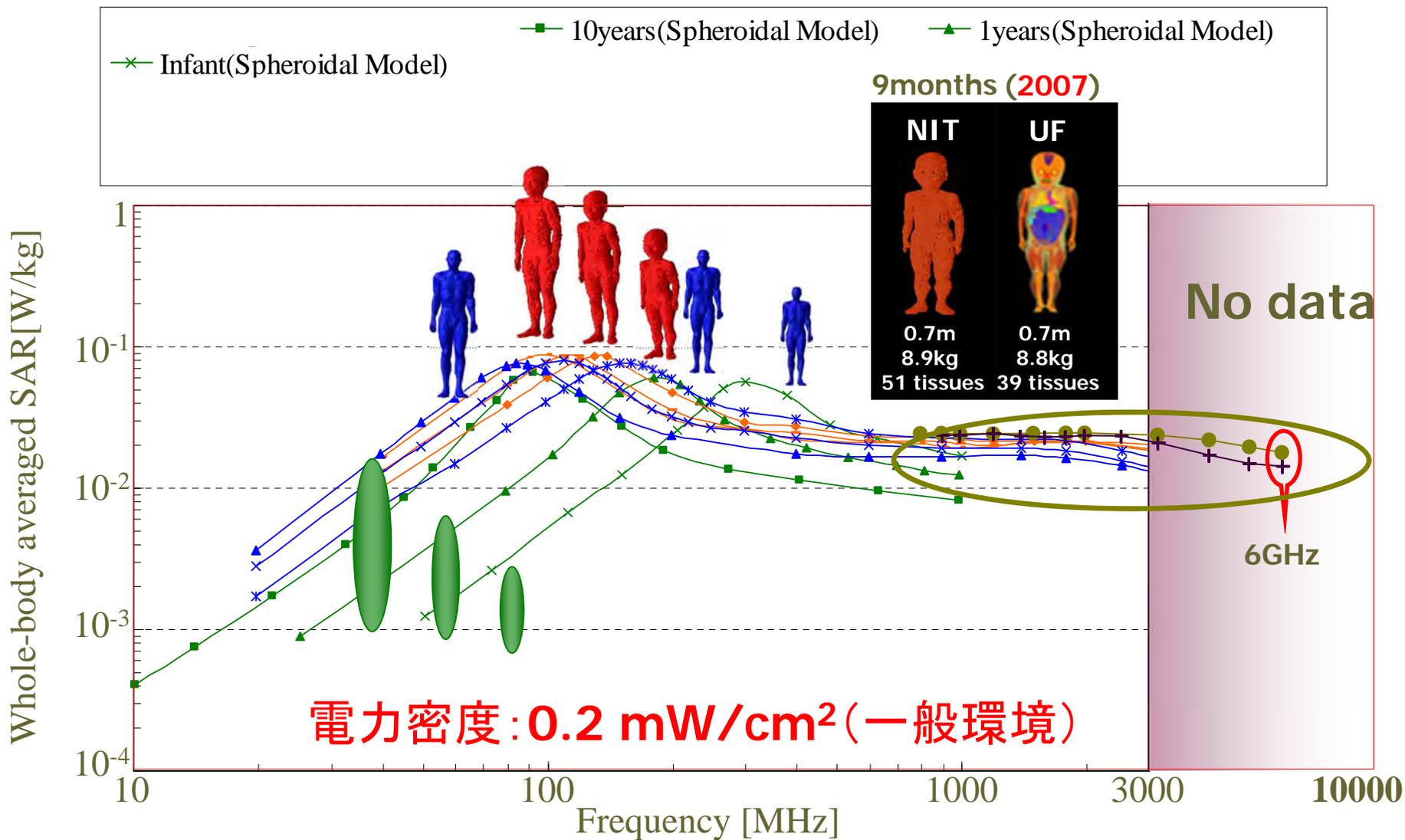


51 tissue types

	3 years <sup>†</sup>	9 months	New born
Cell size [mm]	2.0	1 / 0.25	
Height [m]	0.88	0.70	0.49
Weight [kg]	13.0	8.95	2.97

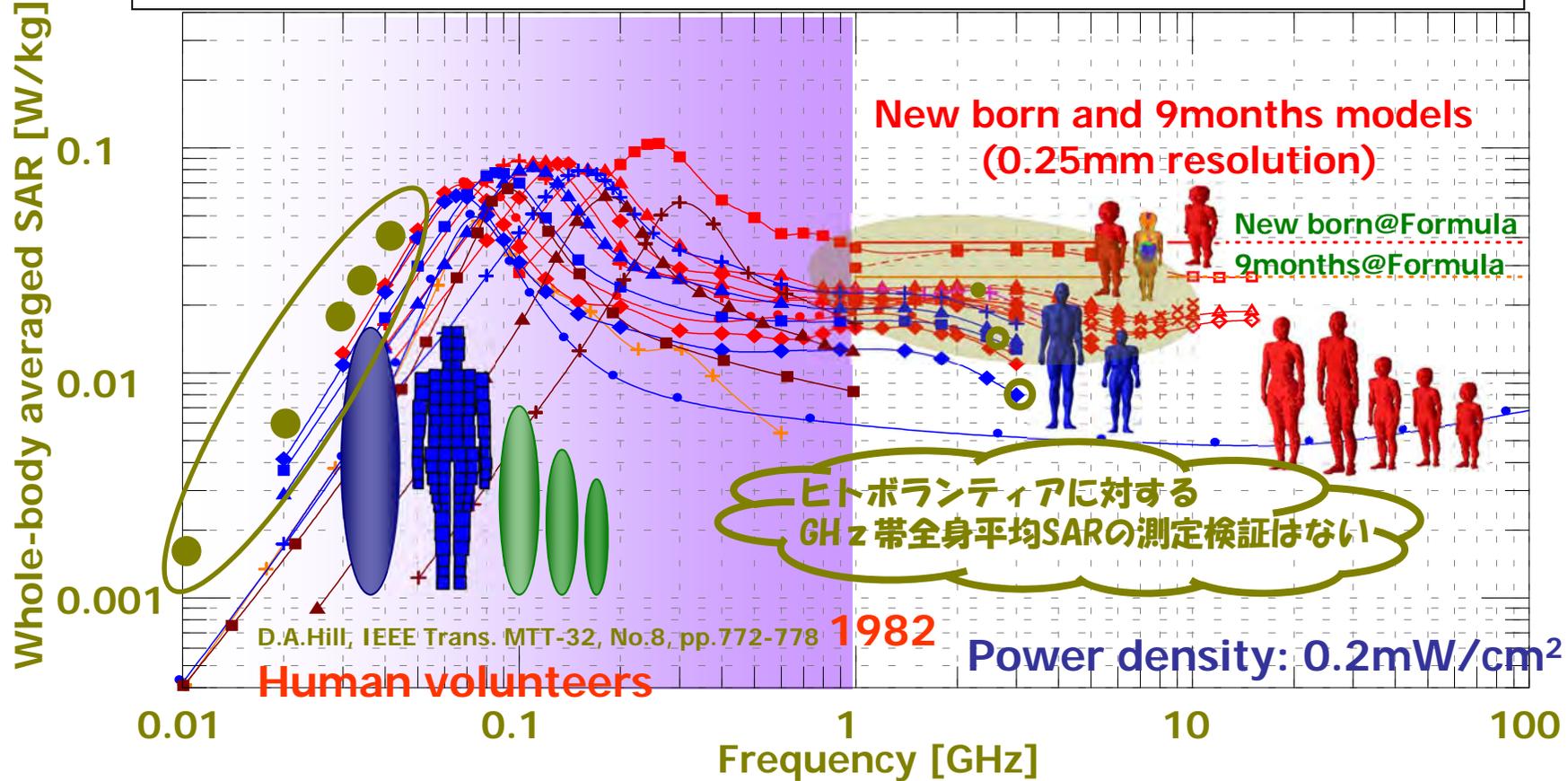


# 乳幼児モデルの全身平均SAR



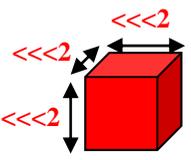
# 全身平均SARを測定する？

- ◆ 3years(1mm)
- ◆ 3years(1mm H-polarization)
- ◇ 3years(0.25mm)
- × 3years@Nagaoka(0.5mm)
- × 3years@Nagaoka(0.5mm H-polarization)
- ▲ 9months(1mm)
- ▲ 9months(1mm H-polarization)
- ▲ 9months@UF model
- New born(1mm)
- New born(1mm H-polarization)
- New born(0.25mm)
- 9months@Formula
- New born@Formula
- 10years(Spheroidal Model)
- Adult(Spheroidal Model)
- + Block Model
- ▲ 1year(Spheroidal Model)
- × infant(Spheroidal Model)
- + 7years(Japan Male)
- ◆ 22years(Japan Male)
- ◆ 22years(Japan Female)
- ◆ 3years(Japan Male)
- ◆ 5years(Japan Male)
- ◆ 10years(Reduced NORMAN)
- ◆ 5years(Reduced NORMAN)
- ◆ 1years(Reduced NORMAN)

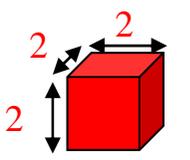


# 生身の人体と計算機モデルとの相違

セルサイズ 生体組織数  
<<<2 >>>51種類  
Unit:[mm]

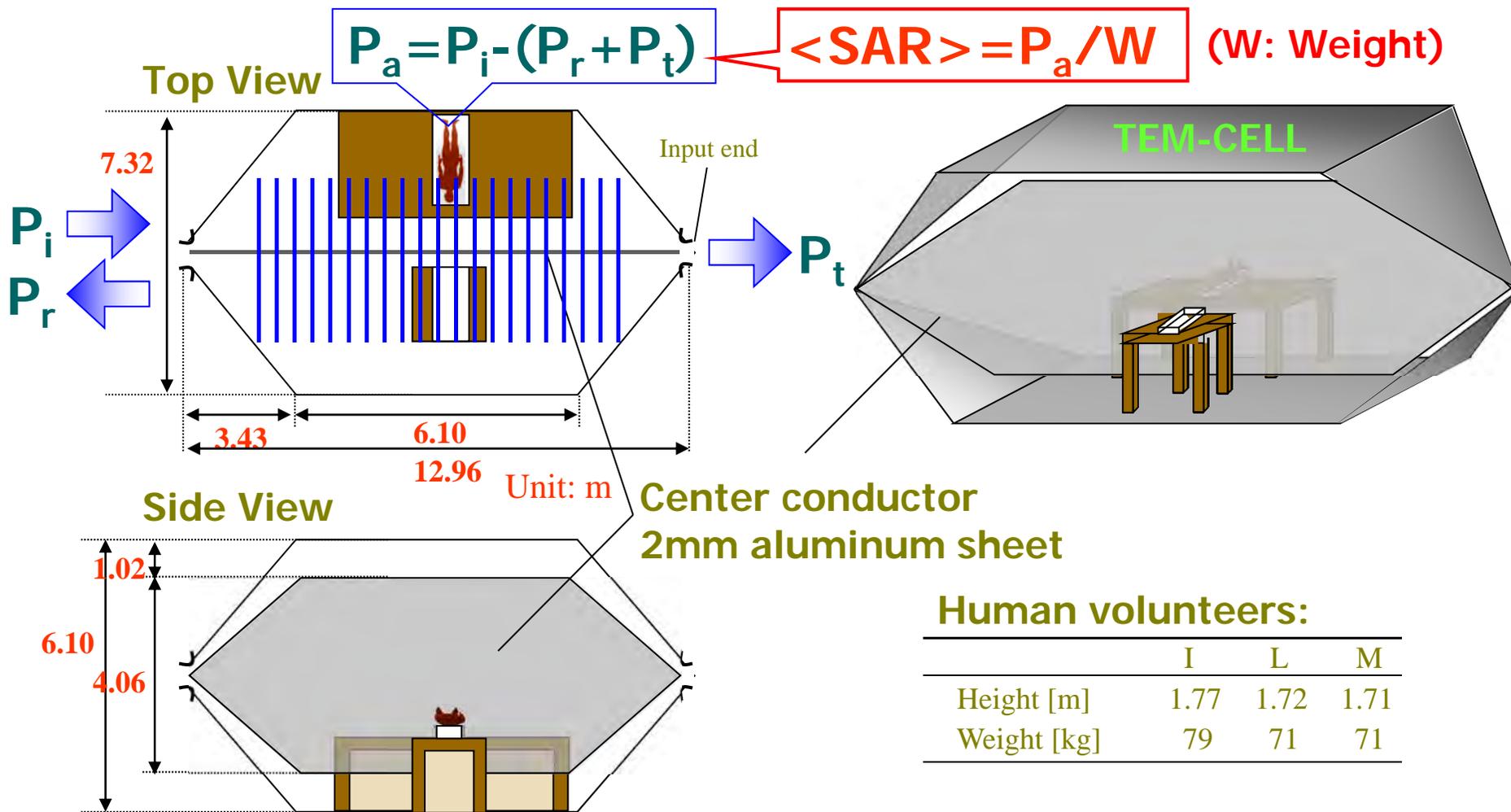


セルサイズ 生体組織数  
2 2 51種類  
Unit:[mm]



	Volunteer	Human model
Height [m]	1.73	1.73
Weight [kg]	73.0	65.3

# VHF帯全身平均SARの測定



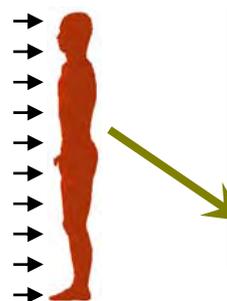
**Power density: 13  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$**   
**Frequency: 10 - 40 MHz**

†Hill, D. A, "Effect of Separation From Ground on Human Whole-Body RF Absorption Rates", Microwave Theory and Techniques, IEEE

Transactions on Volume MTT-32, Issue 8, Aug. **1984**.

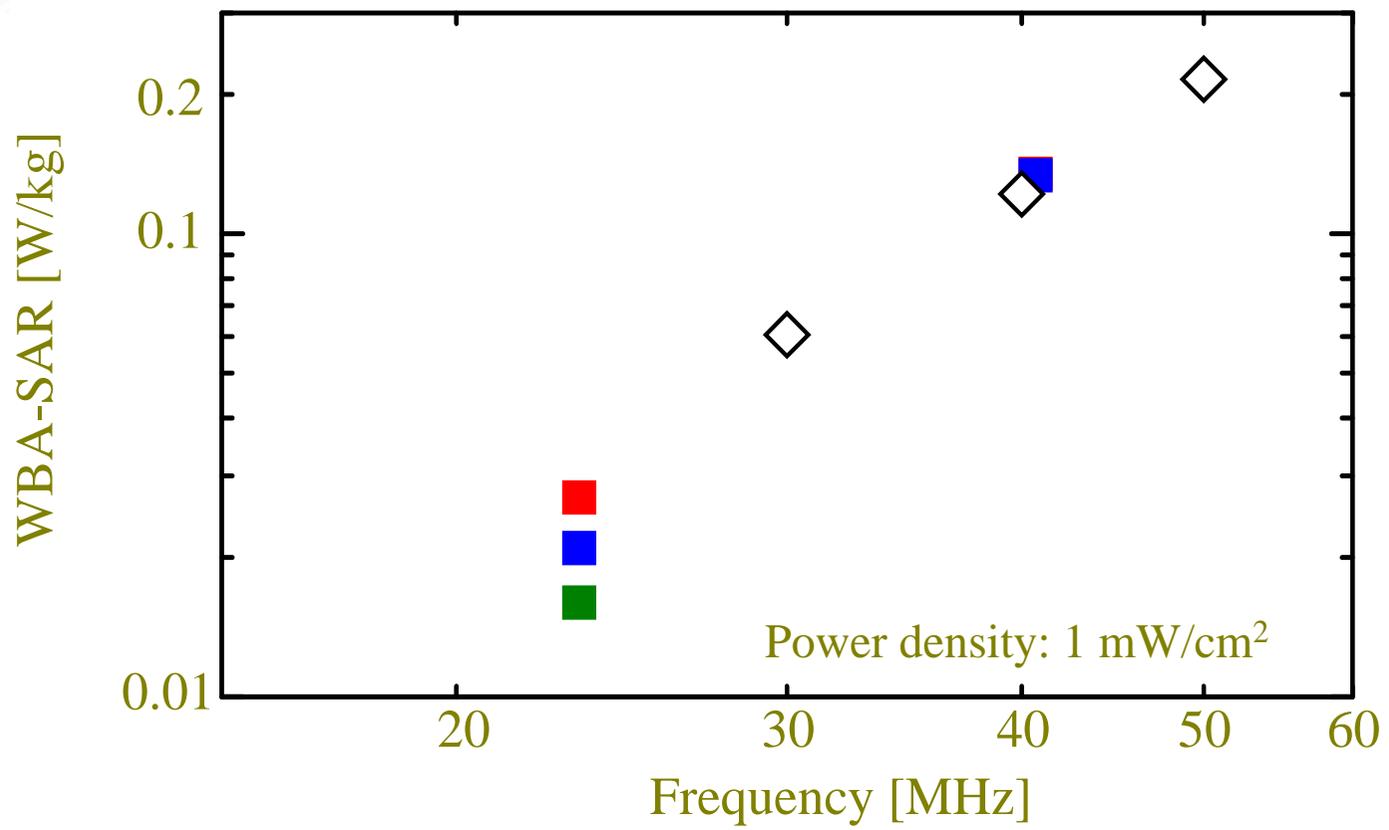
# 電波の安全性に関する説明会

主催：総務省中国総合通信局  
共催：国立大学法人 山口大学  
後援：山口県、宇部市、中国情報通信懇談会、山口県電波適正利用推進員協議会

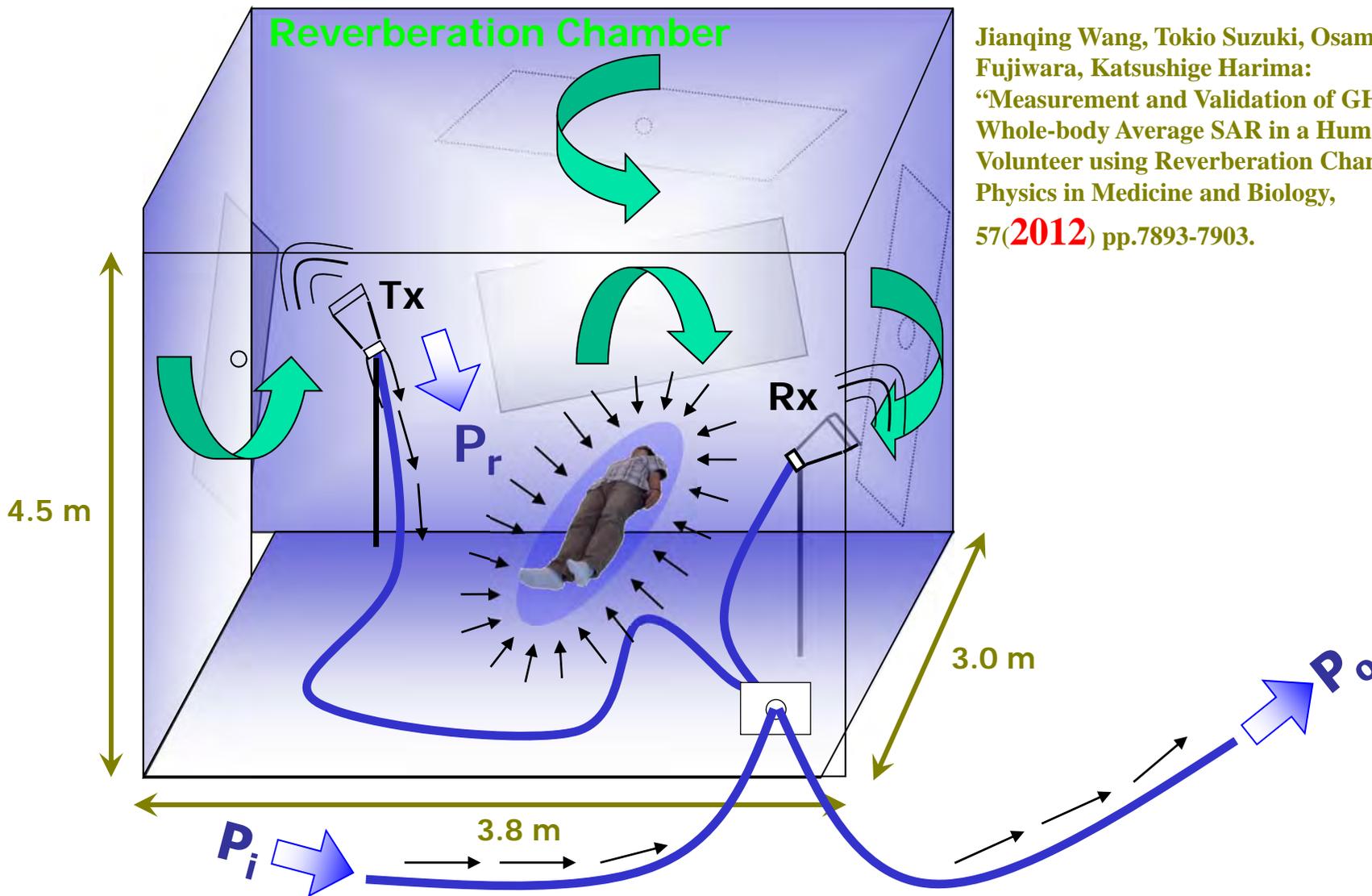


- : Subject I(1.77m/79kg)<sup>†</sup>
- : Subject L(1.72m/71kg)<sup>†</sup>
- : Subject M(1.71m/71kg)<sup>†</sup>
- ◇ : Calculated(1.73m/65kg)

<sup>†</sup>Hill. D. A, "Effect of Separation From Ground on Human Whole-Body RF Absorption Rates", Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on Volume MTT-32, Issue 8, Aug.1984.



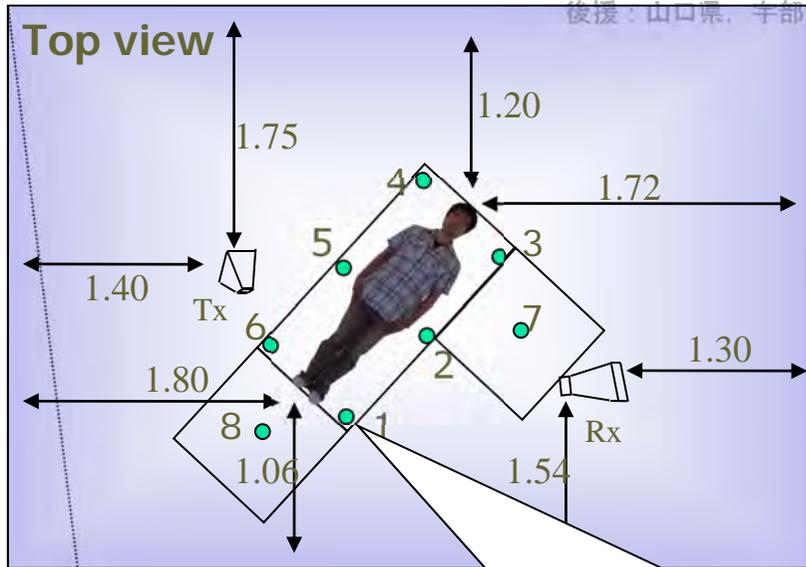
# GHz帯全身平均SARの測定



Jianqing Wang, Tokio Suzuki, Osamu Fujiwara, Katsushige Harima:  
“Measurement and Validation of GHz-Band Whole-body Average SAR in a Human Volunteer using Reverberation Chamber”,  
Physics in Medicine and Biology,  
57(2012) pp.7893-7903.

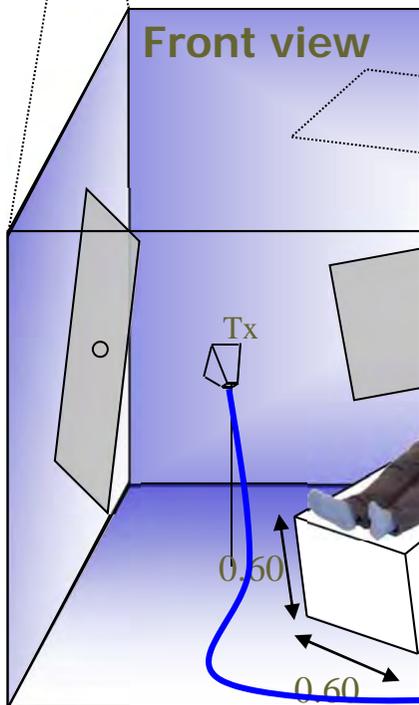
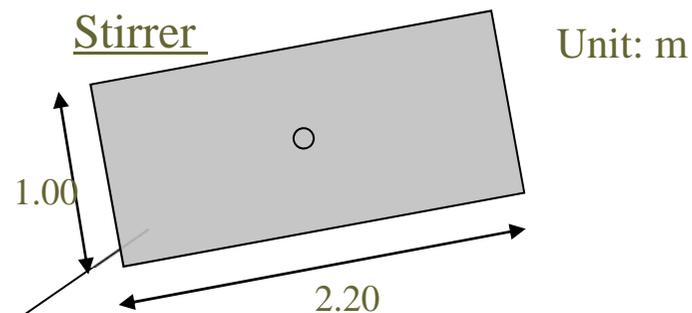
# 電波の安全性に関する説明会

主催：総務省中国総合通信局  
共催：国立大学法人 山口大学  
後援：山口県、宇部市、中国情報通信懇談会、山口県電波適正利用推進員協議会



●: Measurement point

1周期(60s)で攪拌機を回転



5 Sample/s  
0.5~800 V/m  
100 kHz~6 GHz

Unit: m

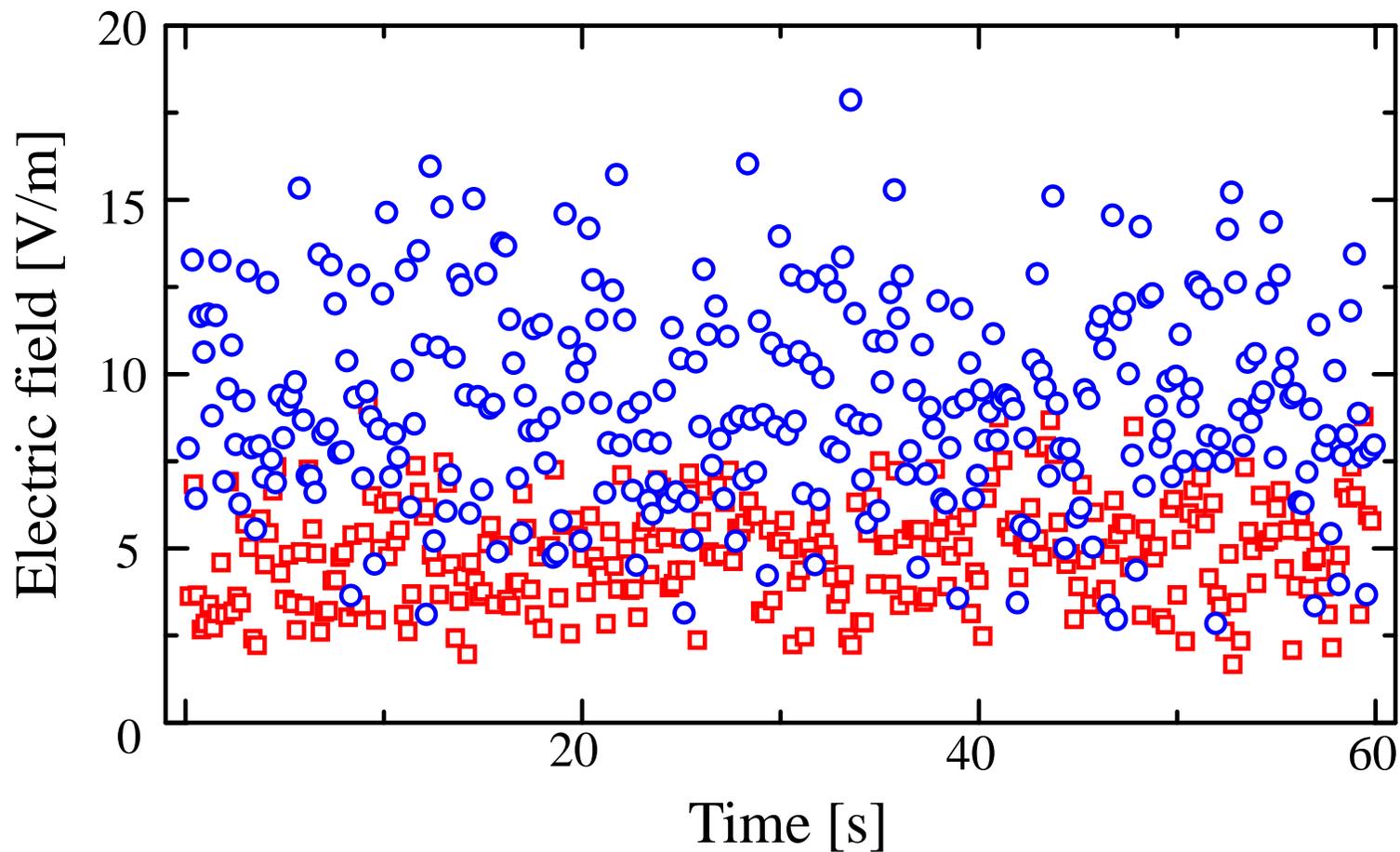
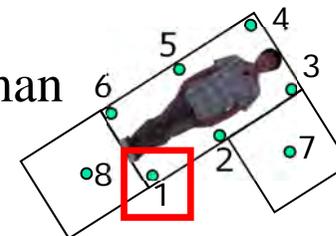
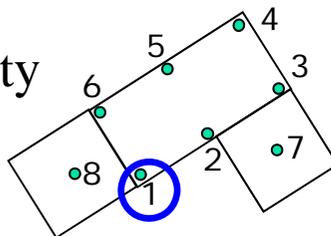
# 測定電界の時間変化

Frequency: 1GHz

$P_i = 39.17$  [mW]

○: Empty

□: With human



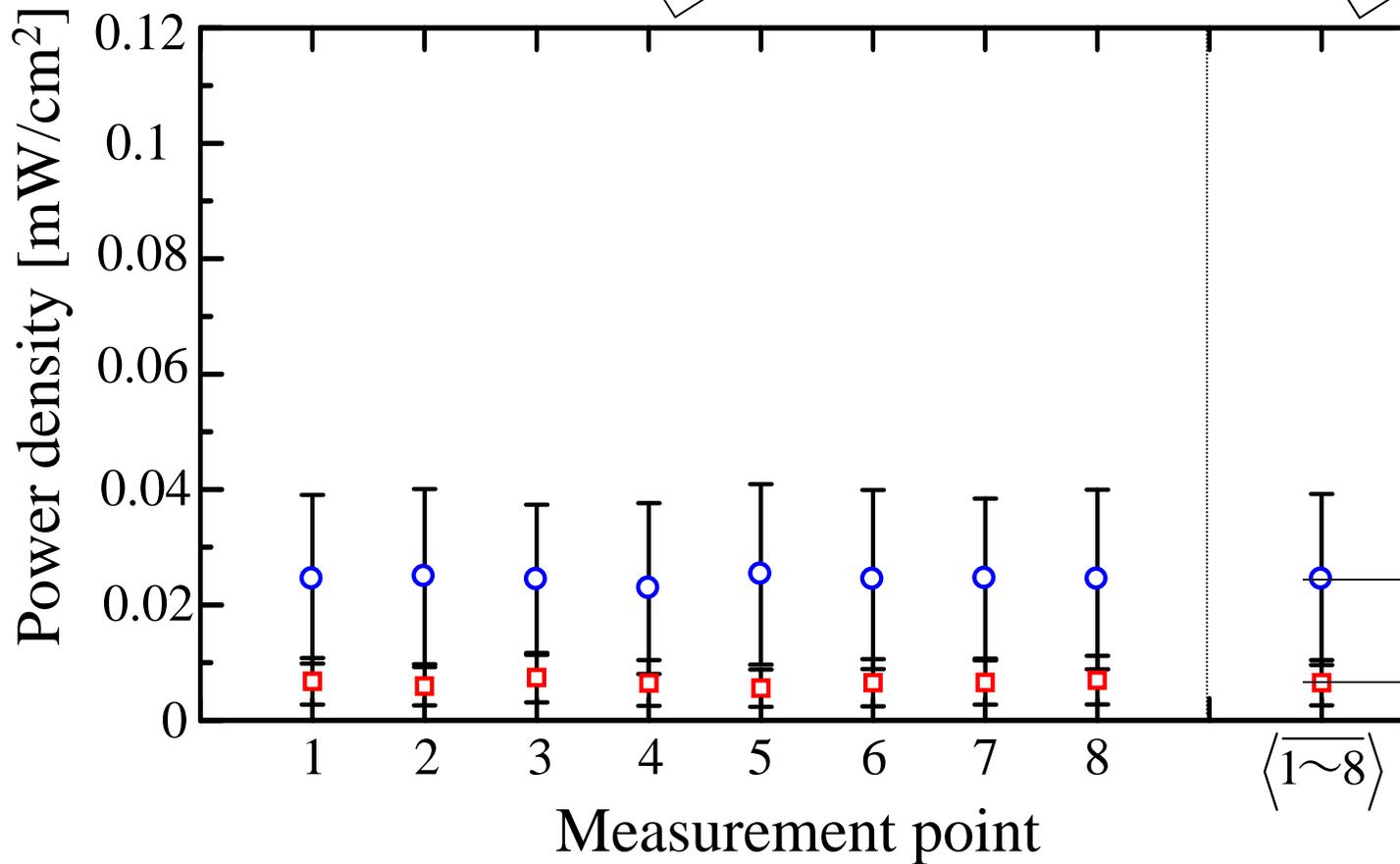
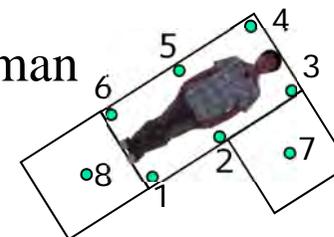
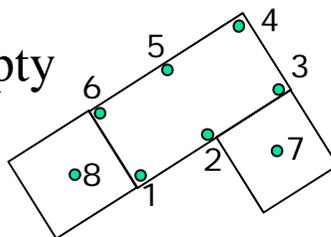
# 測定電界から求めた等価電力密度

Frequency: 1GHz

$$P_i = 39.17 [\text{mW}]$$

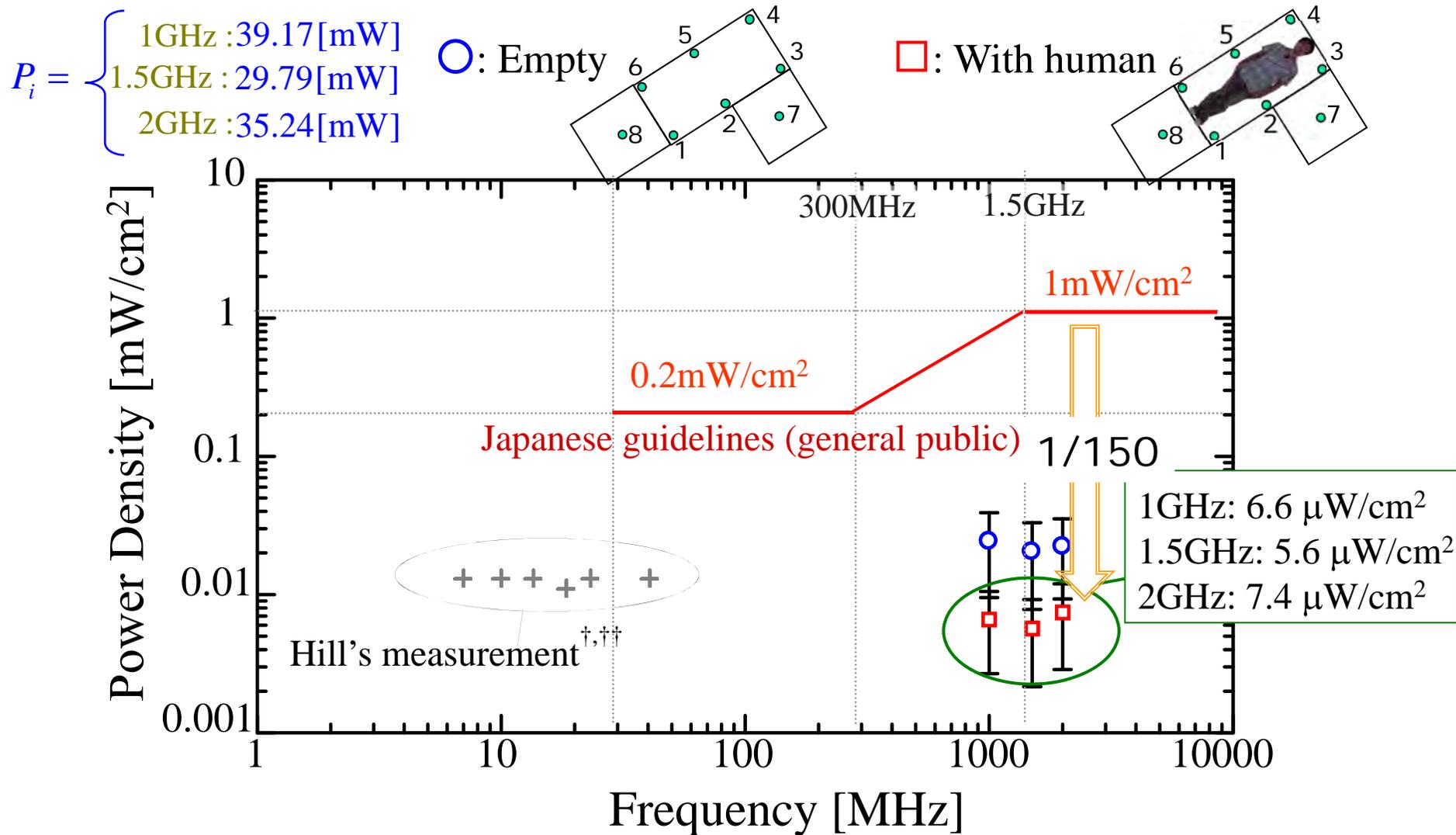
○: Empty

□: With human



# 電波の安全性に関する説明会

主催：総務省中国総合通信局  
 共催：国立大学法人 山口大学  
 後援：山口県，宇部市，中国情報通信懇談会，山口県電波適正利用推進員協議会



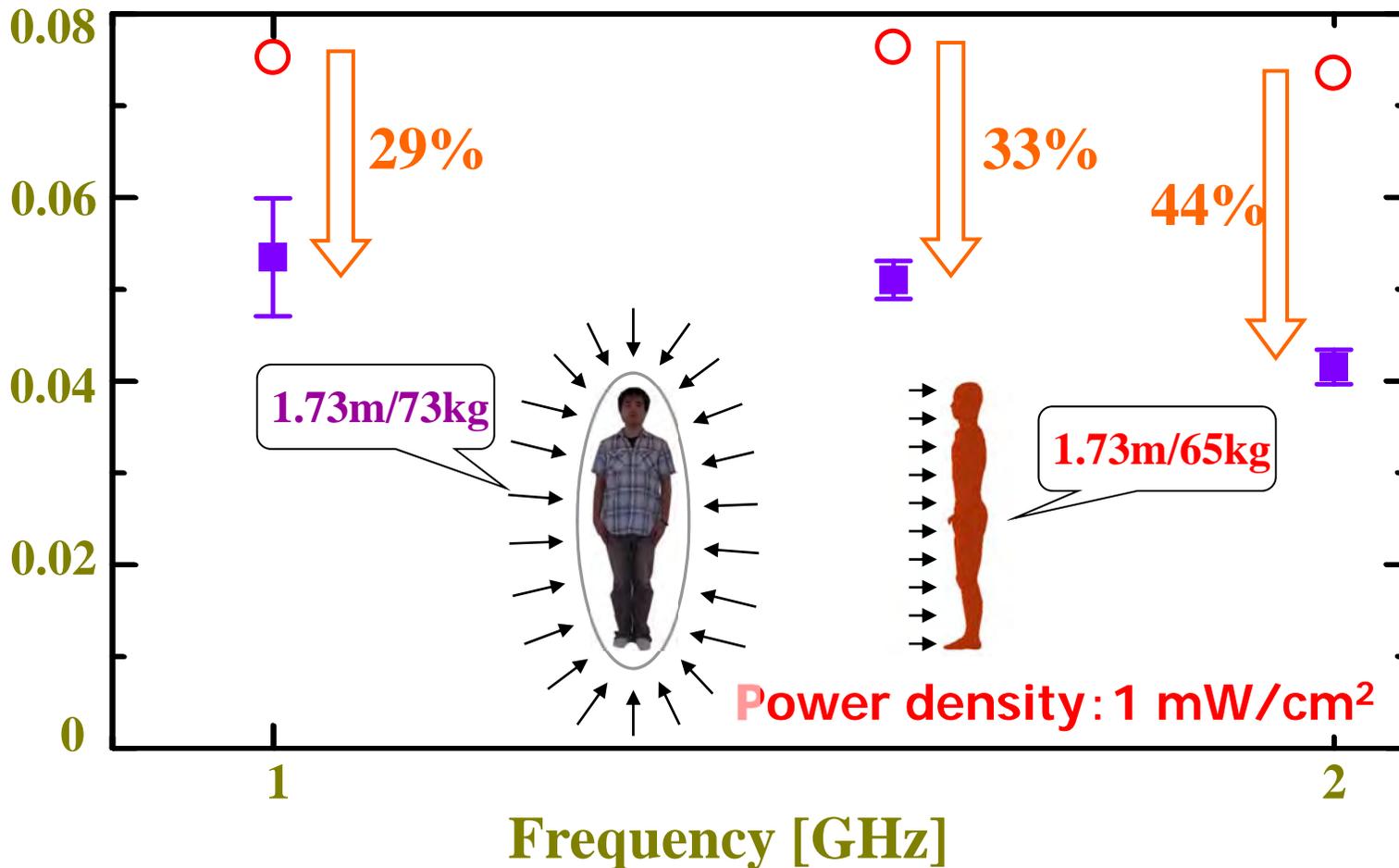
† Hill. D. A, Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on Volume 30, Issue 11, Nov.1982.

†† Hill. D. A, Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on Volume MTT-32, Issue 8, Aug.1984.

# GHz帯全身平均SARの測定結果

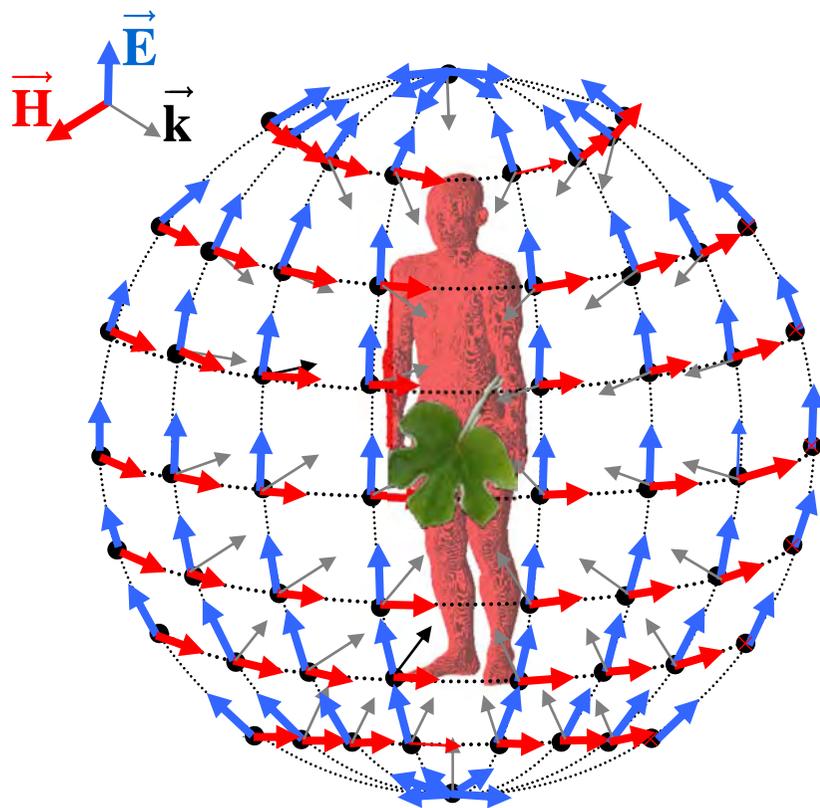
■ : Measured (Reverberation Chamber)  
○ : Calculated (Frontal irradiation)

Whole-body averaged SAR[W/kg]

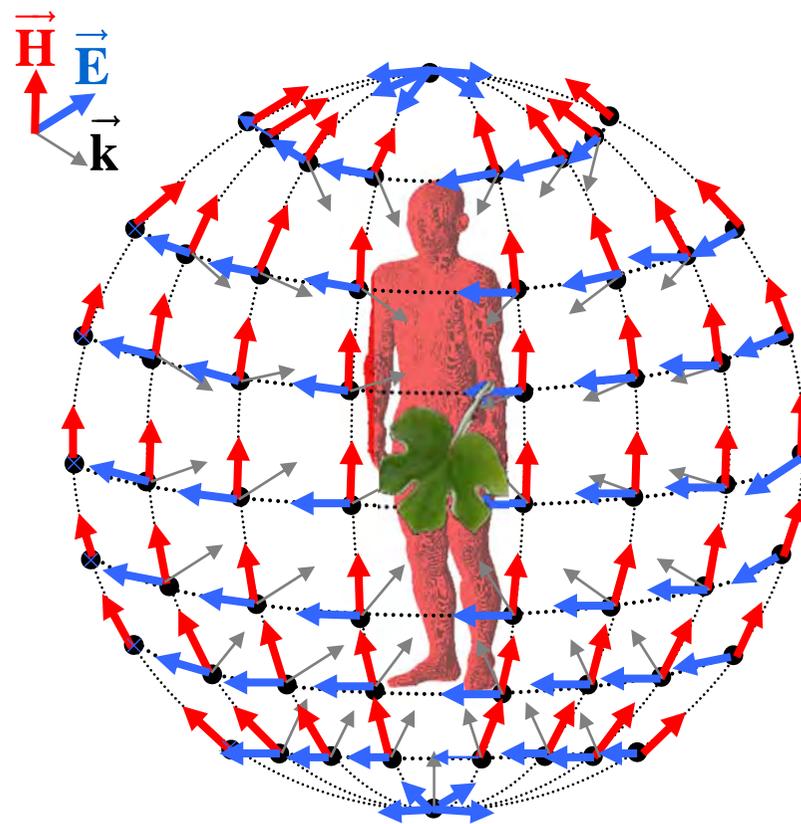


# GHz帯全身平均SARの計算

## E-polarization

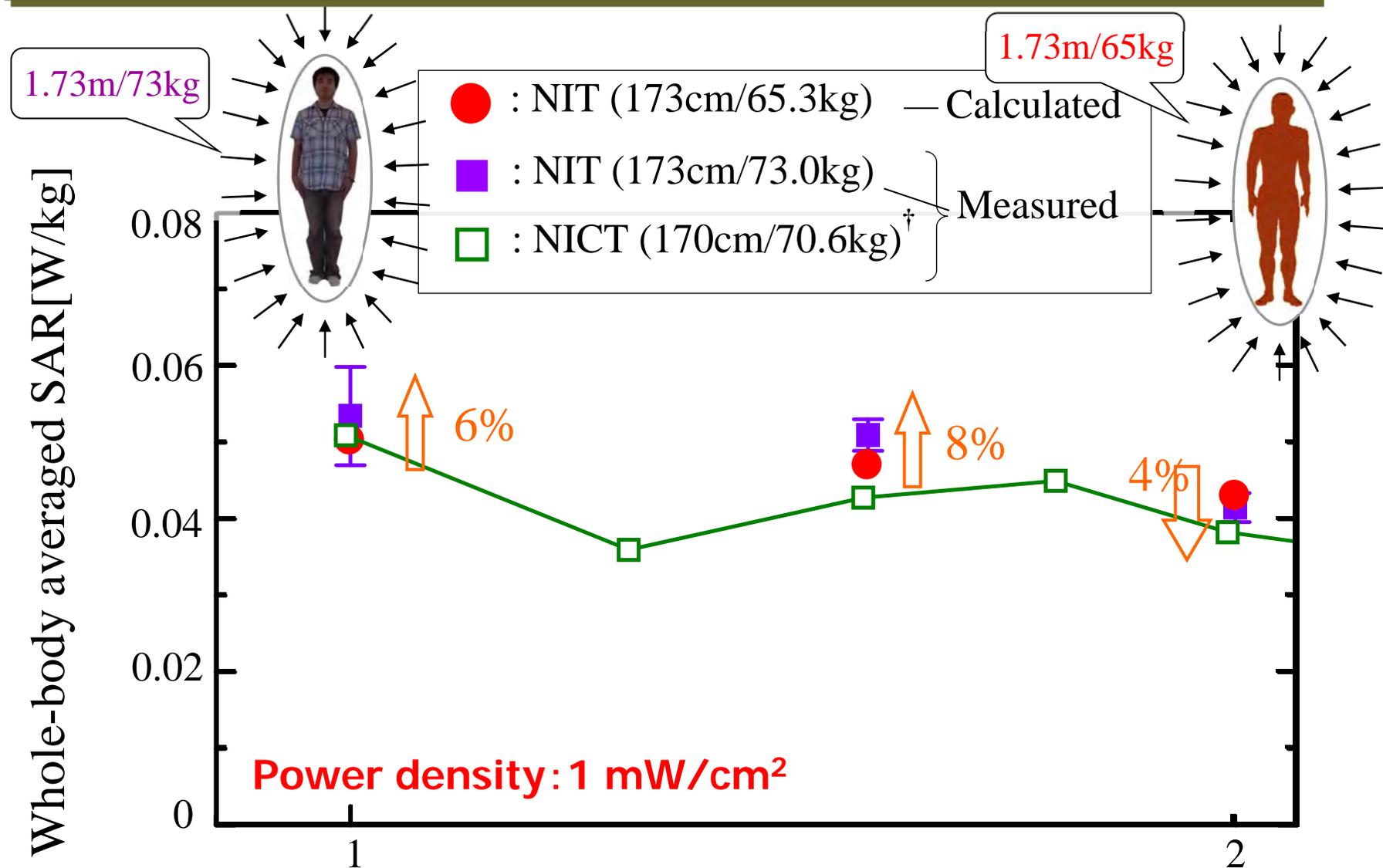


## H-polarization



†鈴木登季夫, 王建青, 藤原修, 電磁環境研究会資料, EMC-2011-22.

# GHz帯全身平均SARの測定結果と計算結果の比較



† 張間勝茂, 信学技法, EMCJ2011-105. Frequency [GHz]

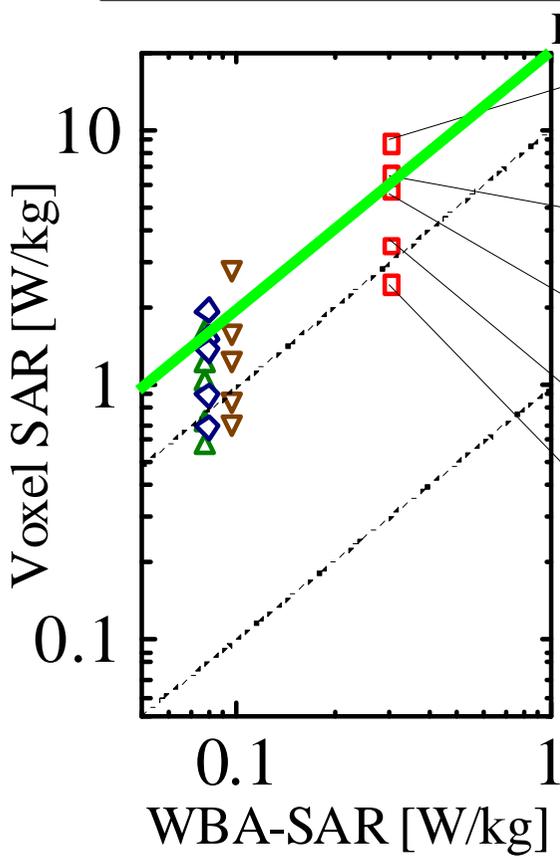
# 局所平均SARは全身平均SARの20倍を超えない？



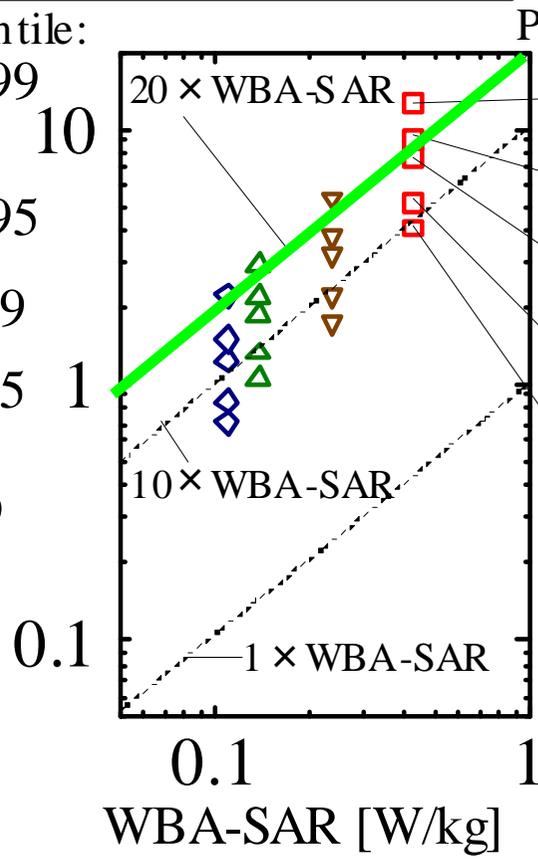
浅山遼太, 王建青, 藤原修:  
 電気学会論文誌, Vol. 133,  
 No. 10, pp. 537-542 **2013**



$7.1 \times 10^6$   
 Voxel



(a) Pregnant woman  
**妊娠女性**



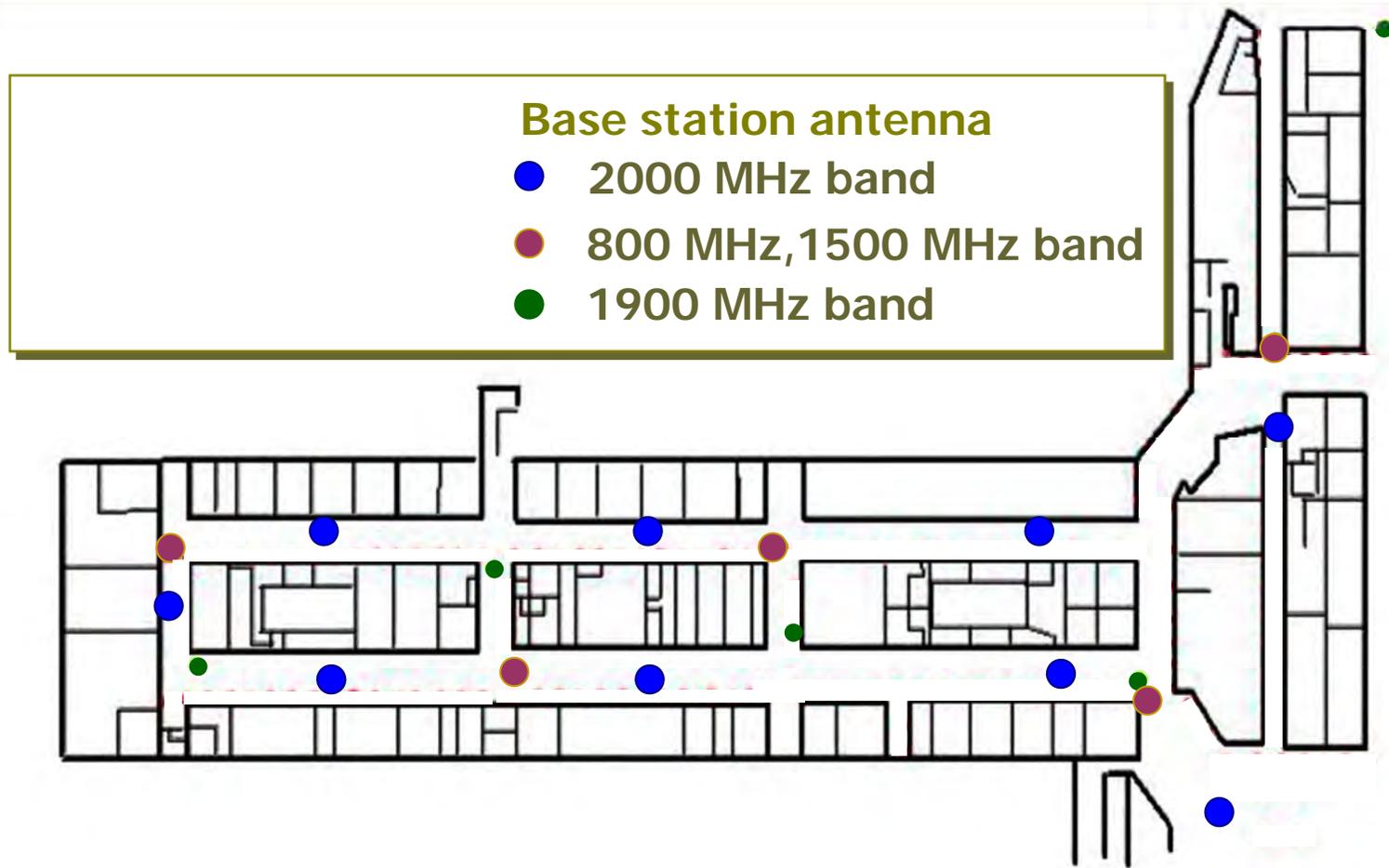
(b) 3 years child  
**3歳男児**



$1.6 \times 10^6$   
 Voxel

# 複数周波電波ばく露の安全性？

## 電磁環境のばく露評価例：東京駅八重洲地下街



# 複数周波数電波ばく露のガイドライン

## ICNIRP†

**全身平均SAR**：各周波数成分の指針値に対する割合の総和が1を超えない

$$\gamma_{\text{WBA-SAR}} = \sum_{i=100\text{kHz}}^{10\text{GHz}} \frac{\text{WBA-SAR}_{f_i}}{\text{WBA-SAR}_L}$$

WBA-SAR<sub>f<sub>i</sub></sub> [W/kg]：周波数 $f_i$ でのばく露の全身平均SAR  
WBA-SAR<sub>L</sub> [W/kg]：全身平均SARの基本制限値(公衆曝露では0.08W/kg)

**電磁界強度**：各周波数成分の指針値に対する割合の自乗和が1を超えない

$$\gamma_{\text{Squared electric field}} = \sum_{i=1}^N \frac{E_m(f_i)^2}{E_g(f_i)^2}$$

$E_m(f_i)$  [V/m]：測定電界強度(6分間平均の実効値)  
 $E_g(f_i)$  [V/m]：ガイドラインが定める指針値  
 $f_i (i = 1, 2, \dots, N)$  [Hz]：周波数

## 総務省電波防護指針††

**電磁界強度**：各周波数成分の指針値に対する割合の自乗和が1を超えない

† ICNIRP, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300GHz)"  
Health Phys., vol.74, no.4, pp.494-522(1998).

†† 総務省電波防護指針, 諮問38号"電波利用における人体の防護指針", 1990

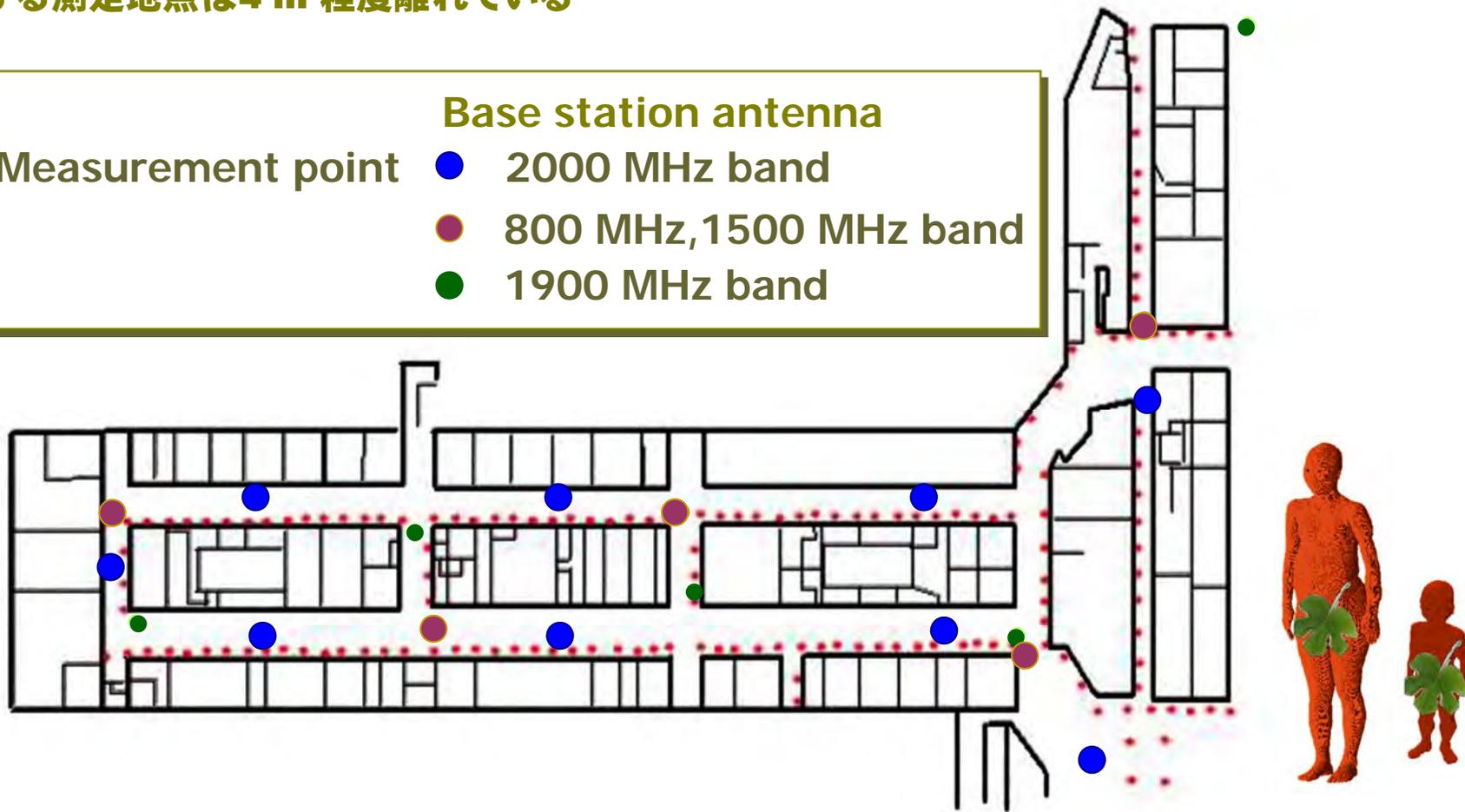
# 電磁環境のばく露評価：東京駅八重洲地下街（昼）

- ・ 160地点における800 MHz, 1500 MHz, 1900 MHz, 2000 MHz帯の**最大電界強度**を測定
- ・ 隣接する測定地点は4 m 程度離れている

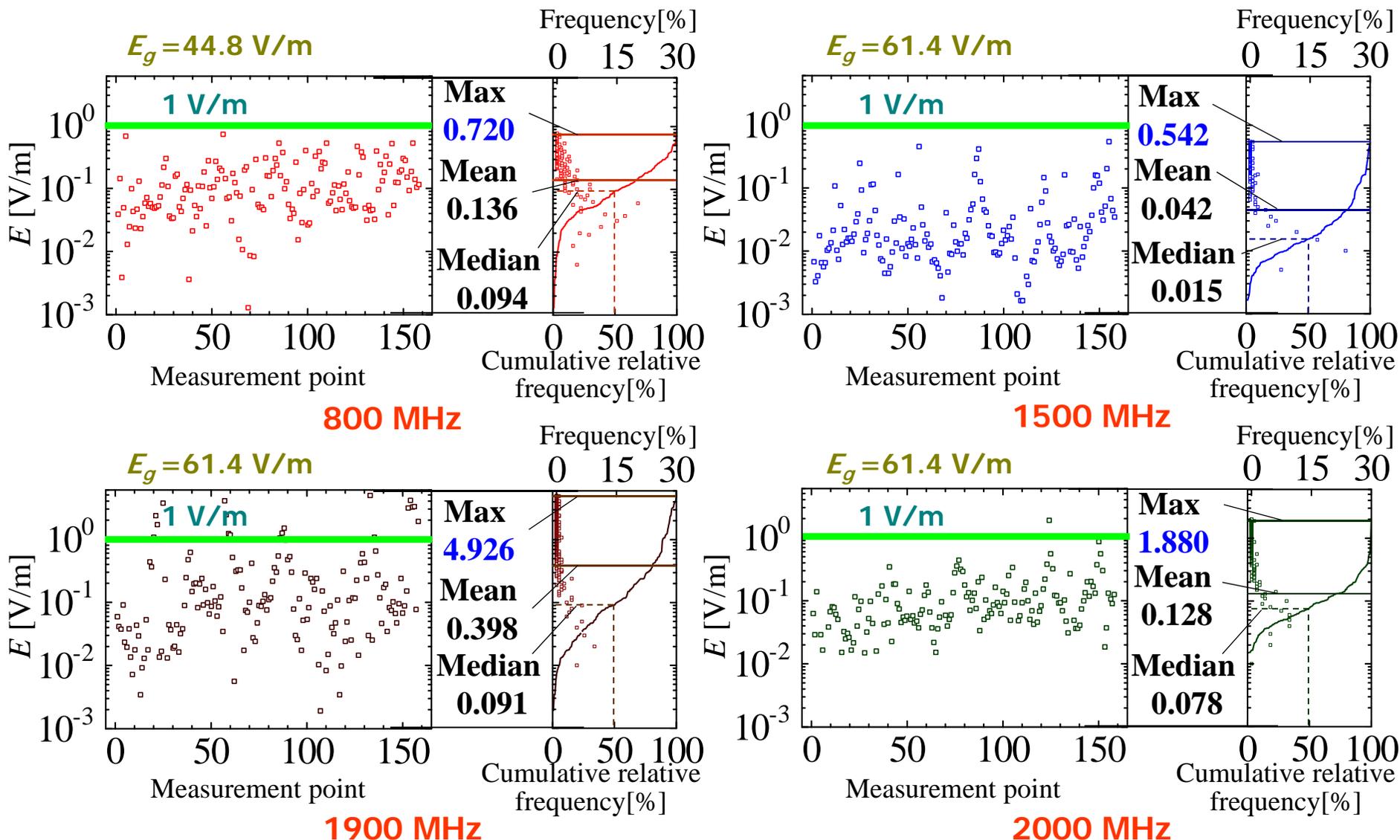
● Measurement point

Base station antenna

- 2000 MHz band
- 800 MHz, 1500 MHz band
- 1900 MHz band



# 東京駅八重洲地下街の電界強度分布 † (昼)

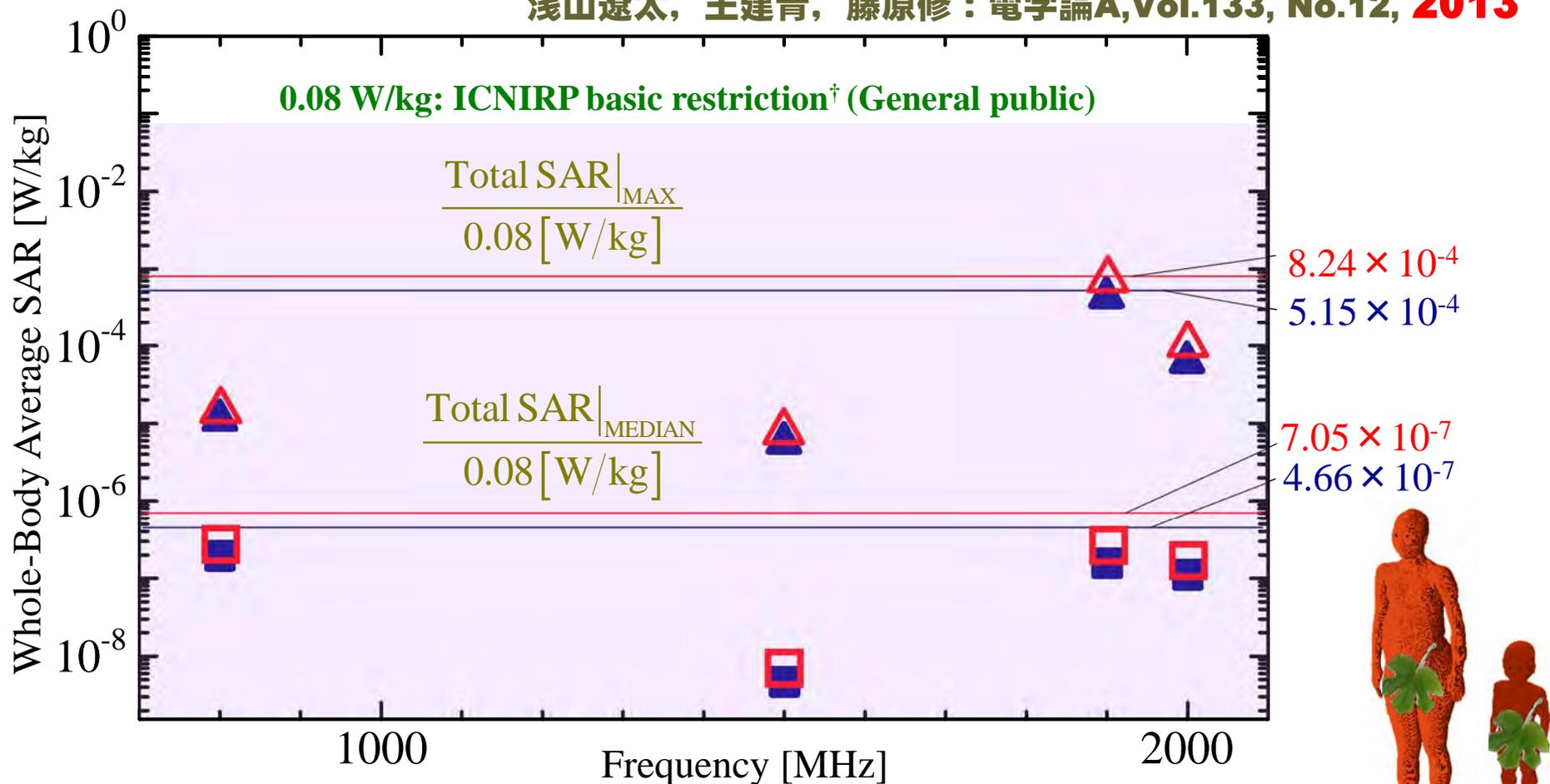


† 総務省, ”閉空間等の電波伝搬環境下における電界強度測定などの調査報告書”, 平成20年1月

# 妊婦，3歳児の全身平均SAR

- ▲ Pregnant woman    ▲ 3 years child : FDTD calculation (Power density :  $E|_{MAX}$ )
- Pregnant woman    □ 3 years child : FDTD calculation (Power density :  $E|_{MEDIAN}$ )

浅山遼太，王建青，藤原修：電学論A, Vol.133, No.12, 2013



<sup>†</sup> ICNIRP, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300GHz)", Health Phys., vol.74, no.4, pp.494-522(1998).

# 電波の人体に及ぼす影響と安全性 ～ 電波防護指針の考え方と根拠，検証 ～

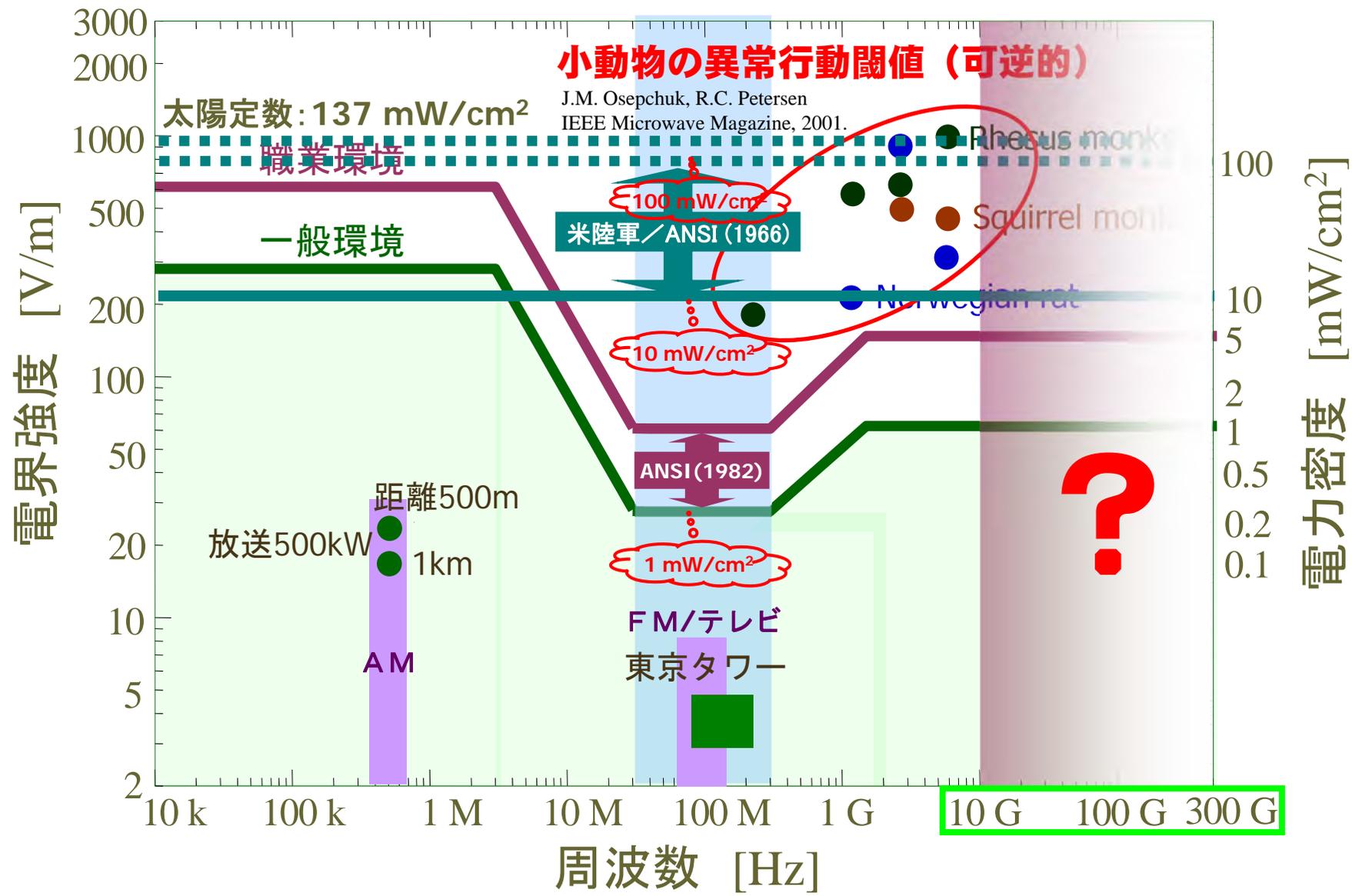
日時 平成28年10月12日（水）

場所 山口大学 工学部 D11教室(山口県宇部市)

藤原 修（電気通信大学 / 名古屋工業大学）

- ✓プロローグ
- ✓EMCとは
- ✓電磁波と人体影響
- ✓人体防護基準
- ✓基準根拠の明確化
- ✓基準根拠の検証
- ✓エピローグ

# 電波の人体防護基準



## 電波の安全性に関する説明会

主催：総務省中国総合通信局  
共催：国立大学法人 山口大学  
後援：山口県、宇部市、中国情報通信懇談会、山口県電波適正利用推進員協議会



## 電波の安全性に関する説明会

主催：総務省中国総合通信局

共催：国立大学法人 山口大学

後援：山口県，宇部市，中国情報通信懇談会，山口県電波適正利用推進員協議会

ご清聴ありがとうございました！