

jh240009

# 環境因子を考慮した非電離放射線ばく露における体温上昇評価

名古屋工業大学 小寺紗千子

平田 晃正 (名古屋工業大学) 滝沢 寛之 (東北大学サイバーサイエンスセンター)  
増田 宏 (久留米大学), 徳田 龍太郎, 加藤 将馬, 松浦 竜也 (名古屋工業大学)



## 研究背景と目的

- ミリ波帯をはじめとする電波に対する人体安全性について関心が高まっている。
- 電波の生体影響は、100 kHz以上では**熱作用**が支配的(図1)。国際ガイドラインでは、全身ばく露と局所ばく露に対する評価指標が定められている。
- 6 GHz超における許容評価指標は、科学的根拠の不足から計算には未だ不足している。
- 本研究グループでは、これまでに電磁界・熱の**複合物理解析技術**を開発。さらに、**血流変化**、**発汗**などの**温熱生理応答**までを考慮可能な**システムバイオロジー**を確立してきた。
- ミリ波に対応した高分解能の解剖学的人体数値モデルを開発し、大規模電磁界-熱混成解析を行うことにより、**様々な年齢・体型・外気温などの因子を包括的に考慮した体温上昇解析**を行うことで、非電離放射線からの安全性評価を行う。
- これらの評価技術が確立できれば、非電離放射線の一種である太陽光からの影響を高精度に推定可能な**熱中症評価システム技術**にも応用可能。

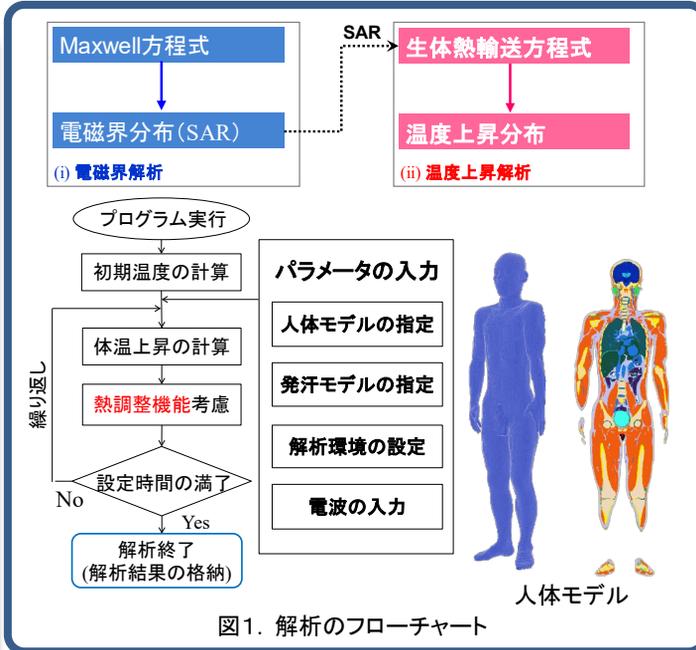


図1. 解析のフローチャート

## 解析手法

- 計算機上にて、様々な環境を模擬した仮想空間に人体モデルを配置。図1に示したフローチャートに従って、まずは電磁界解析を行い、体内電力吸収量(SAR)を算出、得られたSARを熱源として、生体熱輸送方程式に入力することにより、体温変化や発汗量を計算。
- 電磁界解析にはFDTD (Finite-Difference Time-Domain method) 法を用い、吸収境界条件には10層のCPML (Convolutional Perfectly Matched Layer)を適用する。
- 電磁界解析におけるモデル分解能は、人体組織内波長の10分の1以下が要求される。例えば、100 GHz超においては、0.1 mmの分解能が要求される。
- 温度上昇解析には**生体熱輸送方程式**を用いる。組織間の**熱伝導**や体表面から外気への**熱伝達**に加え、体温上昇に伴う**発汗**、**血流量変化**による熱輸送などの**温熱調整機能(システムバイオロジー)**、**ミリ波をはじめとする非電離放射線**吸収による熱発生を考慮し、時間領域有限差分法にて全身の体温変化、発汗量の逐次計算を行う。

## これまでの関連成果

- 6GHz超では、電波はほぼ皮膚組織に吸収されるため、皮膚モデリングが重要となる。従来のボクセルモデルでは再現できていなかったより現実に近い皮膚厚みを持つ高精度な人体モデルを開発した。
- 2023年度萌芽型共同研究課題において、準ミリ波帯における全身ばく露解析を行い、深部体温上昇および対応する局所温度上昇を調査した(図2)。

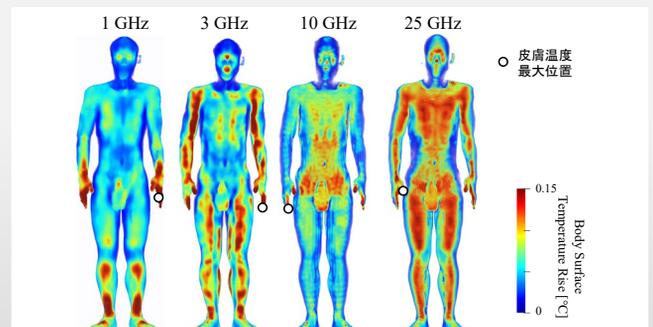


図2. 全身ばく露における体表面温度上昇分布 (入射電力密度: 10 W/m<sup>2</sup>)

## 今年度の研究計画

### 電磁界解析プログラムのMPI化

電磁界解析コードのMPI化によるAOBA-Sへの実装および最適化について検討を行う。**分解能0.1mm**の解剖学的人体数値モデルを用いた電磁界解析は、概算で384,900万点の逐次計算を行う必要がある。また、空間分解能要件が異なる電磁界-熱解析間における最適データ伝達方法について検討を行う。

### 様々な暑熱環境を想定した全身ばく露深部体温解析

様々な暑熱環境を想定した、全身ばく露における電磁界ドシメトリ評価および温度上昇解析を行う。全身ばく露における準ミリ波帯以上の報告は、電磁界ドシメトリ評価に関してもほとんどないため、国際ガイドラインにおいて有用なデータとなる。