

## 熱中症リスク評価シミュレータの開発と応用

江川 隆輔 (東北大学サイバーサイエンスセンター) 柏 達也、田口 健治 (北見工業大学)  
堀江 祐圭 (日本気象協会) 長谷川 一馬、小島 和也 (名古屋工業大学)



### 研究背景と目的

- 熱中症による死亡者数は増加傾向。死亡例も報告。
- 本研究グループでは日本の夏場などの環境において、熱中症の主な要因である体温上昇、発汗量の解析を実施。
- 解析結果から熱中症のリスク評価を行い、熱中症予防の普及啓発活動に寄与することが目的。

### 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体温変化や発汗量を計算。
- 温度上昇解析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熱調整機能(システムバイオロジー)、太陽光吸収による熱発生を考慮し、時間領域有限差分法で逐次計算。
- 外気温35°C、湿度50%で暑熱ばく露における体表面温度上昇の解析一例(図2)

### 太陽光模擬の高精度化

- 電磁界解析においてフラットMPIを用いた。また、ループ融合等による手動チューニングを施し、キャッシュ効率を向上させることで従来コードから10%の高速化に成功した。本コードでは、1プロセスの計算時間を基準として160プロセスで約64倍の加速率を実現。
- 従来の2mmの分解能では太陽光を3GHzとしていたが、太陽光の影響をより正確に考慮するために分解能を1mmとし、10GHz全身ばく露の計算を行った。
- これらのコードを用い、屋外を想定した暑熱ばく露解析を行った(図3)。外気温28°C、湿度60%で基礎検討として、太陽光は3GHz、10GHz平面波と近似した。

### 今後の展望

- 太陽光の影響をより正確に考慮するために分解能を0.5mm以上とした解析
- 過去のデータを用いて搬送人員数と関連するパラメータを導出し、将来的な熱中症搬送者数を予測
- 今後の地球温暖化を見据えた新規シミュレーション基盤技術の開発

### 解析結果・グラフ

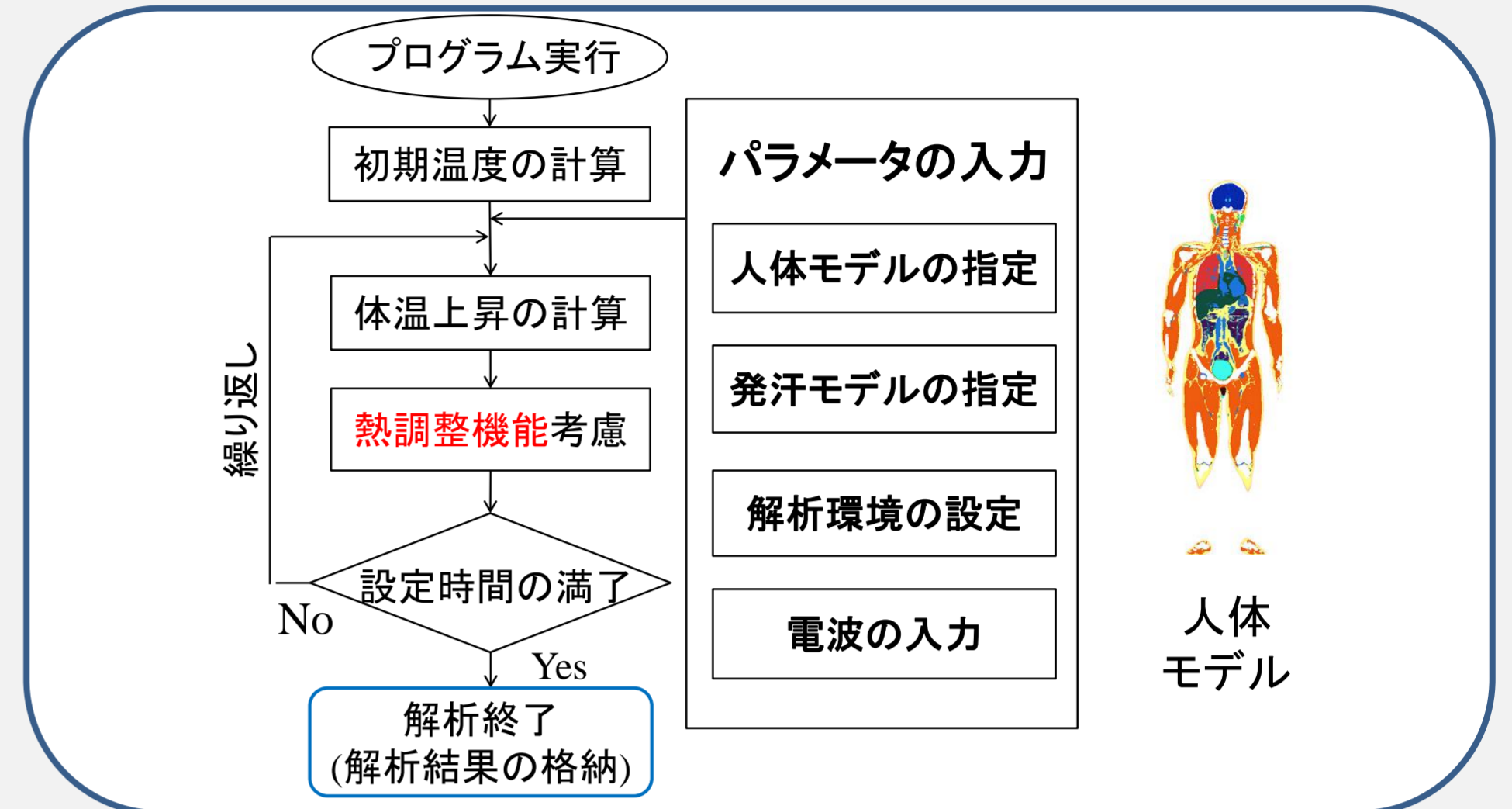


図1. 解析のフローチャート

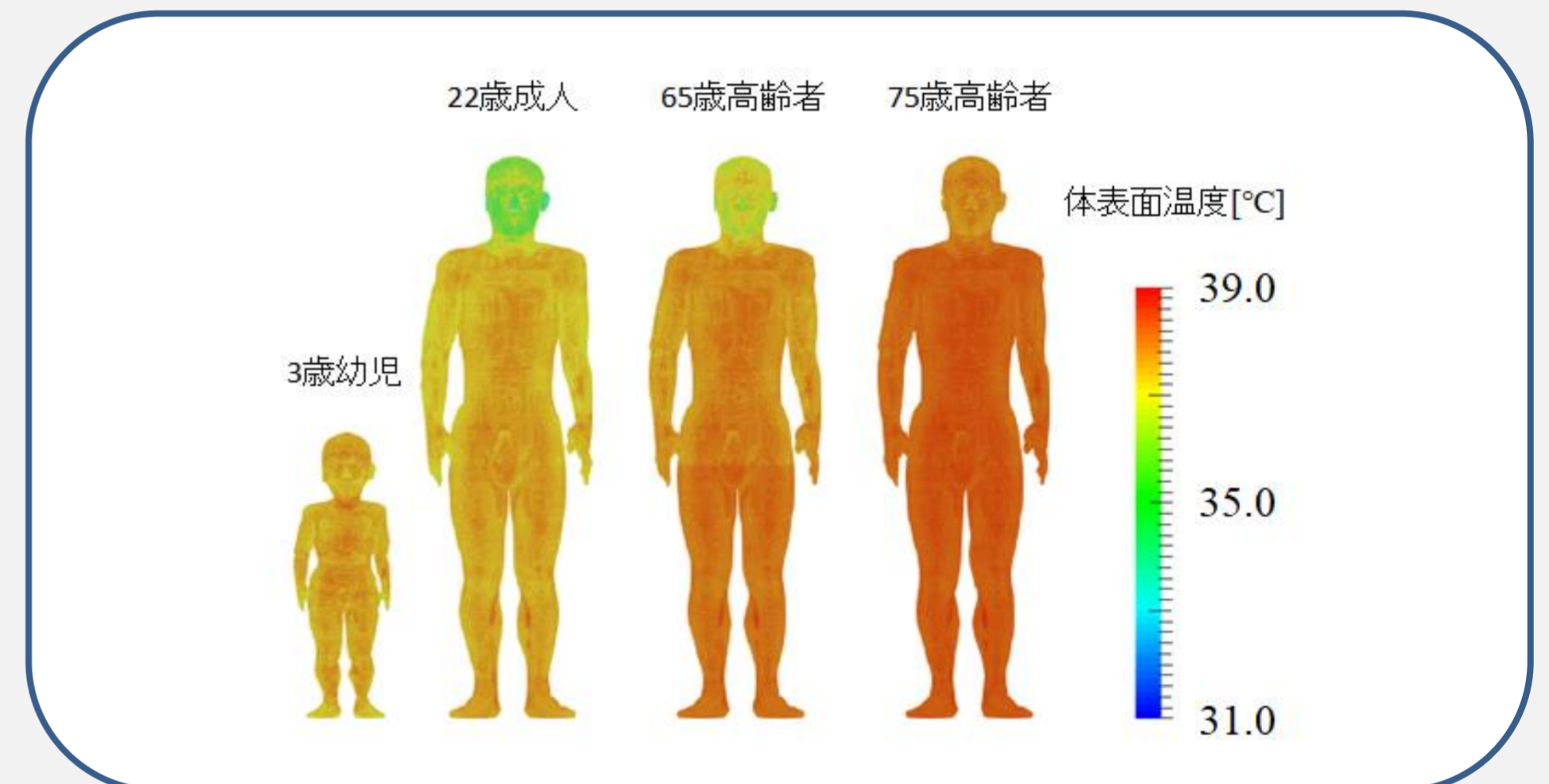


図2. 体表面温度の分布

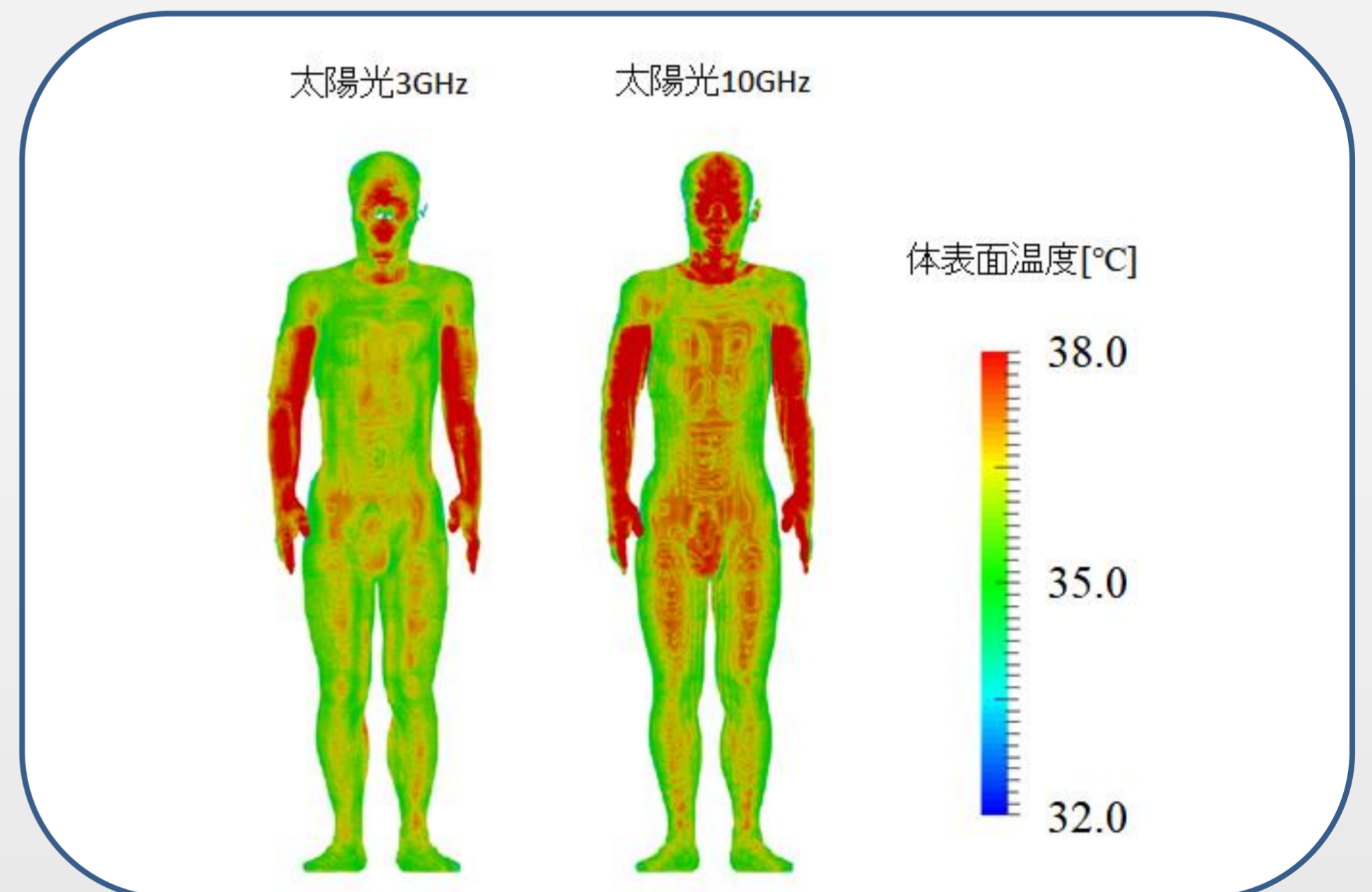


図3. 暑熱ばく露した場合の体表面温度

- 体表面温度上昇は75歳で最大、幼児、成人の順となる(図2参照)。高齢者は若年者よりも発汗量が少なく、発汗の開始が遅れるため、体温が上昇しやすい。3歳幼児モデルの体温上昇の高い理由は、体積が他のモデルよりも小さく、全身に熱が循環しやすいためである。
- 平均皮膚温度は、3GHzで0.72°C、10GHzで0.88°Cとなった(図3参照)。体内深部温度上昇は3GHzで0.28°C、10GHzで0.22°Cとなった。これは、周波数が高くなると電波吸収が皮膚表面に集中するためである。