

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) 小寺 紗千子、神谷 俊樹、西村 卓 (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。

動脈血・静脈血のモデル化

- 血液温度計算高精度化のため，人体モデルを5分割→14分割とし，交流係数を用いて動脈温度および静脈温度を考慮した血液モデルを実装，全身の血液温度の細分化を行った。細分化コード部分についてベクトル化，並列化を行い，成人モデルにおける3時間暑熱ばく露の計算時間は29秒であった。
- これらのコードを用い，Dufourらの実験条件(外気温:4分間で28°C~40°Cまで線形に上昇→86分間40°Cを維持，湿度:42%，図2)および，Hardyらの実験条件(外気温:28°Cから34°Cの範囲の計7条件(1°C刻み)，60分間，湿度:60%，図3)を模擬した。
- 向流係数を調整することにより，優れた非蒸散性熱放散能力をもった，熱帯生育者の長期暑熱順化モデルを開発した。これにより，四肢における体温は低く，頭部・胴体では高い状態の模擬が可能となった。

今後の展望

- 前日および前々日の気温変化を考慮に入れた短期暑熱順化の模擬
- 幼児、成人女性、妊娠女性、前期高齢者、後期高齢者モデルにおいて、様々な気象環境における解析試算
- 冷帯、温帯、熱帯出身者の長期暑熱順化モデルの確立

解析結果・グラフ

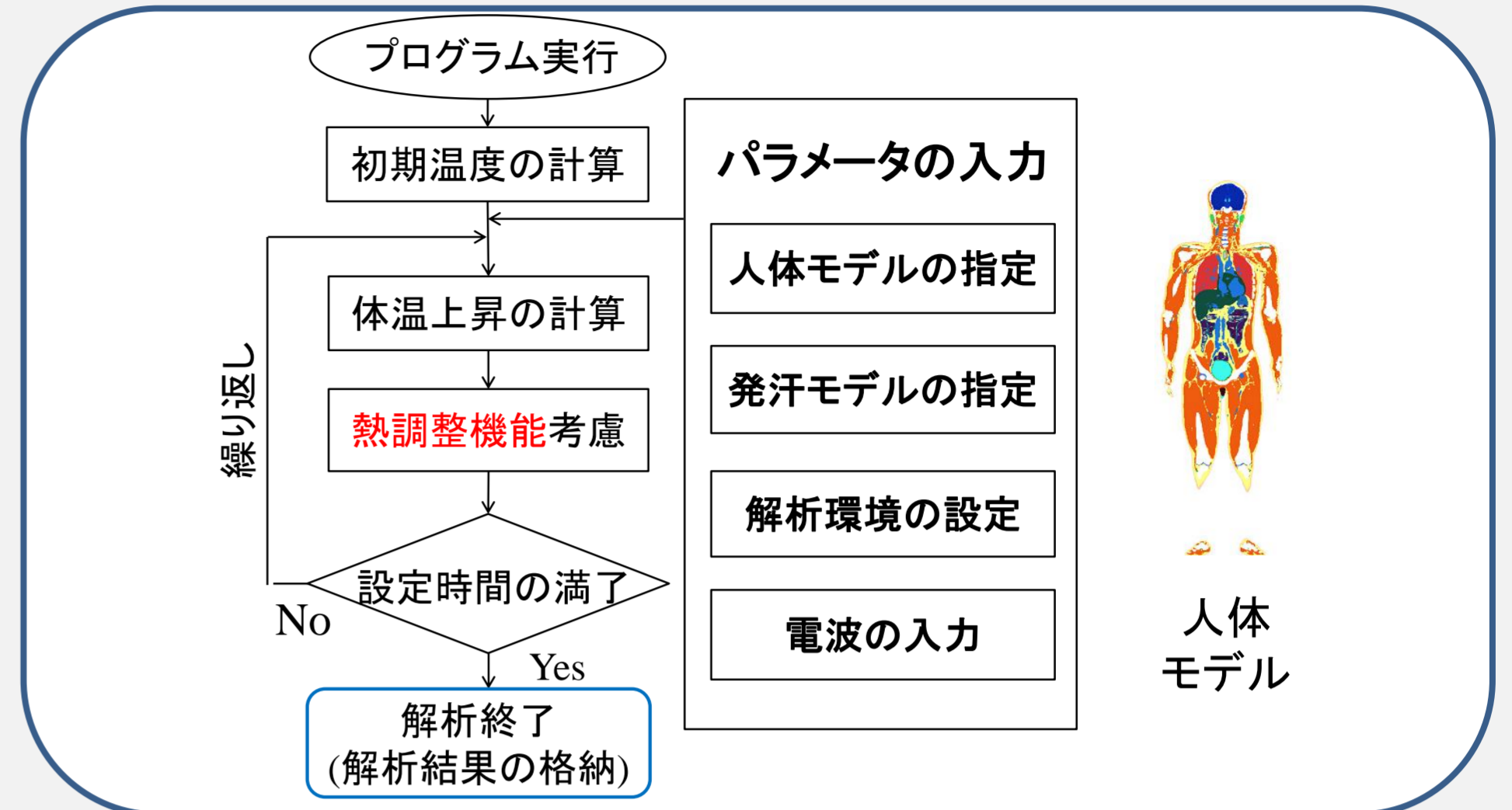


図1. 解析のフローチャート

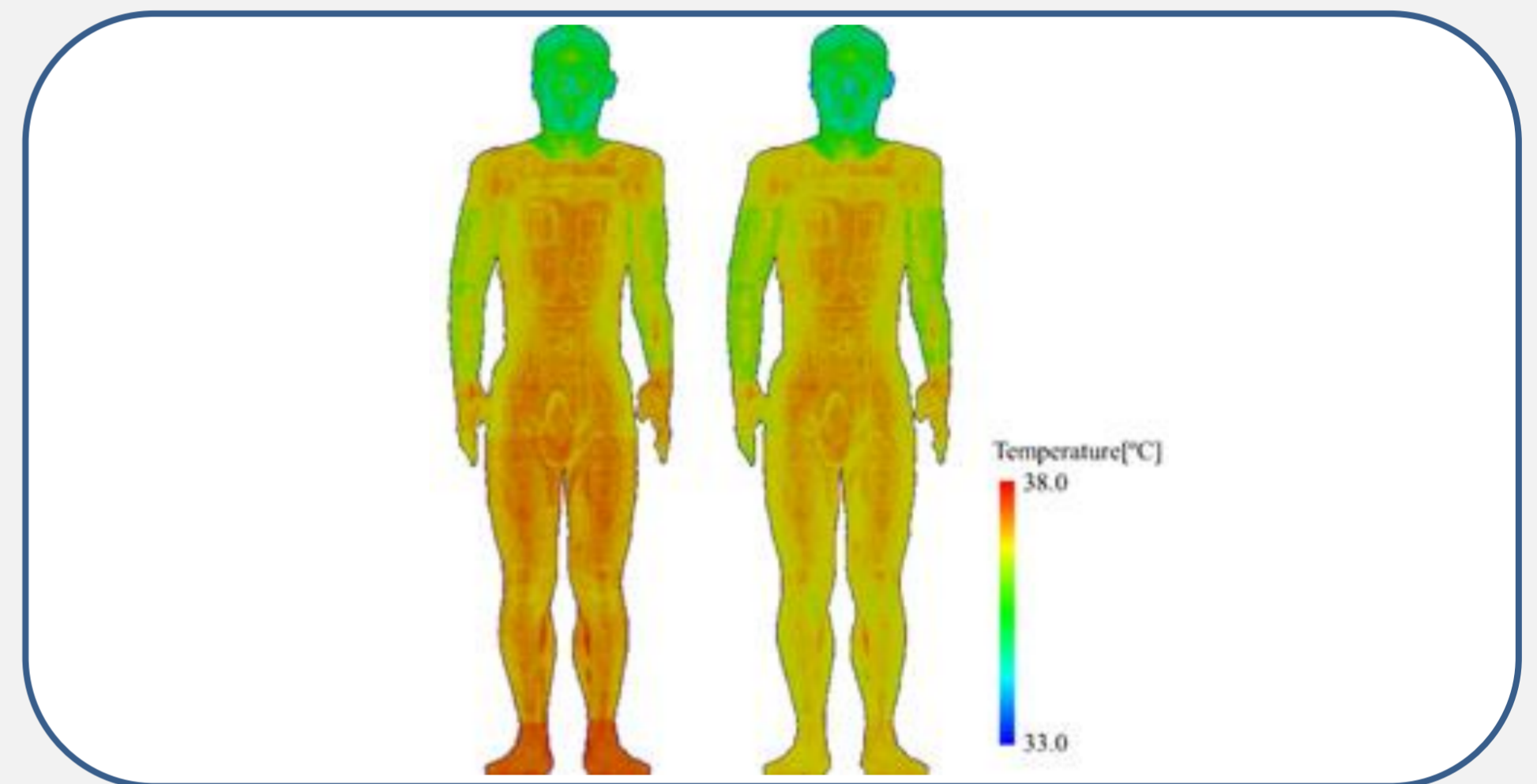


図2. 体表面温度分布 (左:従来手法, 右:提案手法)

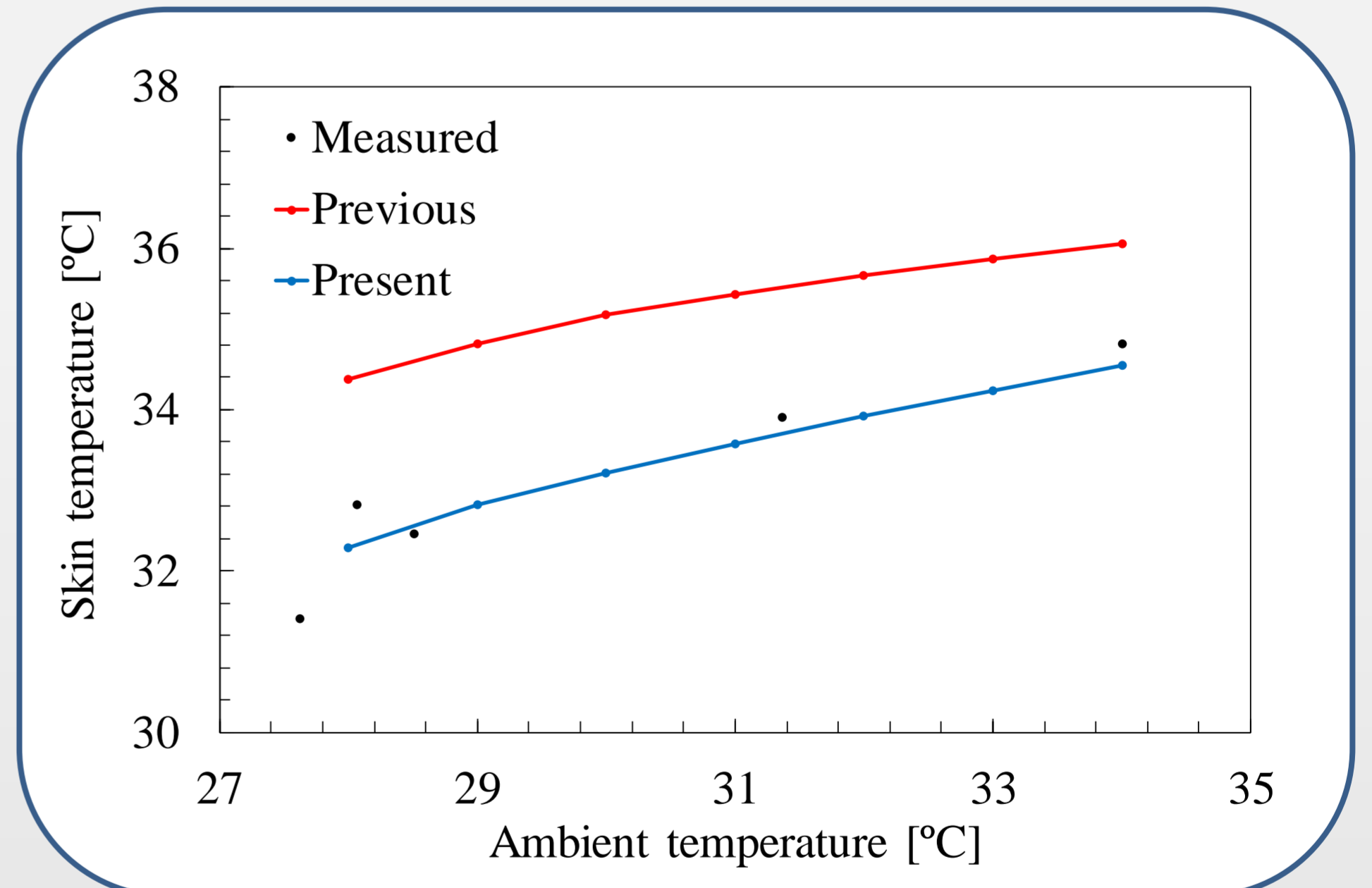


図3. 外気温による足の皮膚温度の変化

- 下半身の皮膚温度分布が大きく異なる(図2参照)。従来の計算手法では，胴体と四肢の血液温度のみ定義されており，足全体を同一の血液温度として扱っていた。提案手法では，14部位の血液温度を向流係数により定義しているため，四肢に輸送する熱量がより大きくなり，温度上昇値が小さくなった。
- 足の皮膚温度は，従来方法と比較して2.7%精度が向上した(図3参照)。これは，血液温度が末端に向かうにつれて下がるという，実際の人体に近い血液温度分布が模擬できたためである。