

新しい熱中症予防コンテンツ  
～計算機と物理で熱中症を考えてみよう～

平田 晃正

名古屋工業大学大学院

日時 平成30年6月3日（日）

## 目的と内容

### 名古屋工業大学を中心とした取り組み

- ◆ **小児**および**高齢者**に対する太陽光と外気温を考慮できる**熱中症シミュレータの開発**と熱中症に関する**物理・工学面からの考察**

### 本日の内容

- ◆ 新しいコンテンツの紹介(Web上)
- ◆ **暑熱環境下**において日本人成人男性モデル,  
**3歳小児モデル**が**太陽光**を浴びた際の体温上昇と発汗量の解析
- ◆ **暑熱環境下**における日本人成人および**高齢者**  
**モデル**の体温上昇の解析

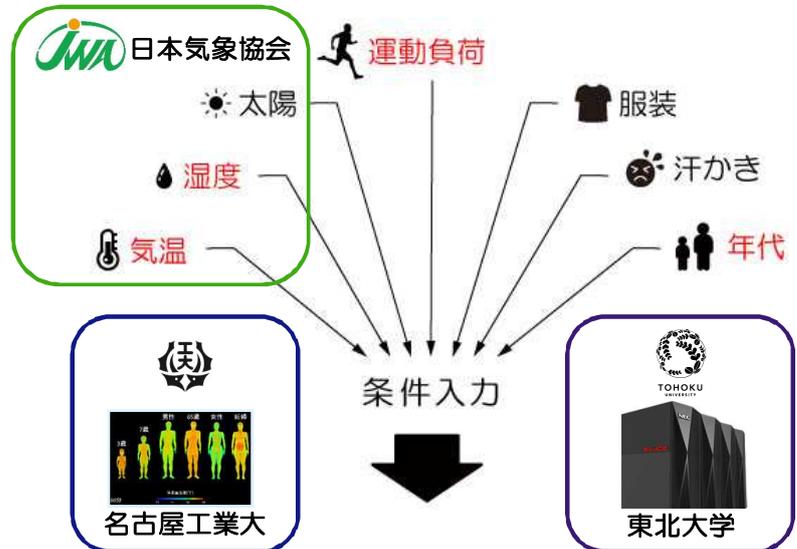
# 取組の概要

- 米国では、**職業人**を対象とした暑熱に対する安全性規格※1（休憩時間、リスクなどの目安）成人のみを対象、簡易計算
- 公衆（一般環境）**に対する熱中症リスク評価技術の必要性

- スーパーコンピュータ上で、**人体と実環境を模擬した仮想空間を再現**
- 発汗、血流量変化など体温調整反応および年齢依存性を考慮した計算法**



**熱中症リスクを評価**



**体温上昇や発汗を計算**

※1 ACGIH（米国産業衛生専門家会議） Heat Stress and Strain（2012）

## 現在のあなたの熱中症危険度は？ 熱中症セルフチェック



# 入力画面（1）：年代

Q1

年代

診断したい方の年代に一番近いものを1つお選びください



# 入力画面（2）：活動レベル

Q2

活動レベル

あてはまるものを1つお選びください



- ・テレビ鑑賞
- ・読書
- ・デスクワーク
- ・子どもの寝かしつけ
- ・電話・会話

- ・ゆっくり歩く
- ・自動車の運転
- ・炊事・洗濯
- ・買い物
- ・楽器演奏

- ・急いで歩く
- ・自転車に乗る
- ・ゴルフ
- ・子どもと遊ぶ
- ・高齢者の介護

- ・ランニング
- ・サッカー
- ・水泳
- ・バドミントン
- ・日曜大工

# 入力画面（3）：現在地

Q3

## 現在地

屋外か屋内をお選びいただき、以下の情報をご入力ください

● 屋外にいる



現在地検索

都道府県

東京都

市区町村

千代田区

● 屋内にいる



気温

入力してください

℃



湿度

入力してください

%

※湿度が空欄の場合は65%で算出します

# 出力画面（1）：チェック結果



## チェック結果

2017年\* 月\* 日（\*） 12:00 現在

気温 30℃ 湿度 65% の環境に1時間いる場合  
（中高生・成人・ちょっと汗ばむ作業レベル）

今のあなたの  
熱中症危険度レベルは…

レベル  
**B**

あなたが今いる環境は、熱中症の予防には、十分な注意が必要です。

1時間に1回、コップ1杯の水分補給をしてください。  
1時間当たり、15分は休憩をとるようにしましょう。

具体的に

どのくらい危険なの？ ▼

【凡例】 A：油断禁物 B：十分注意 C：危険 D：かなり危険

## 出力画面（2）：チェック結果

📍 現在あなたがいる環境の熱中症危険度 📍  
(1時間あたり)

コップ1杯(200ml)程度の  
水分が失われます

スポーツドリンクや0.1~0.2%の濃度の食塩水がオススメ!



45分以上の活動は注意!



こまめに水分を補給し、無理せず休憩をとるよう心がけてください。

## 計算の必要性—小児の事例(1)

- ◆ 子供は通常の熱中症に加えて、特有の「**車内放置**」が知られている。年間**3.5名**の死者(1990年以降)<sup>†</sup>

子供が**車内等の暑熱環境下**で熱中症になる<sup>††</sup>

- 夏場の車内温度上昇：**15~25℃**<sup>††</sup>

成人と子供の**形態的・機能的な相違**<sup>†††</sup>

- 成人と子供の体重あたりの体表面積の割合の大きさの相違<sup>†††</sup>
- 子供の**体温調節機能**に関して有用な情報が少ない<sup>††††</sup>

- ◆ 倫理的に**実験を行えない**

<sup>†</sup> : 全日本遊技事業協同組合連合会 <http://www.zennichiyuren.or.jp/activity/release/child.html> など

<sup>††</sup> : C. McLaren, J. Null and J. Quinn, Pediatrics, vol.116, pp.109-112, (2005)

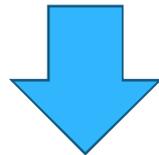
<sup>†††</sup> : O. Baror, Int. J. Sport., vol.1, pp.53-65, (1980)

<sup>††††</sup> : K. Tsuzuki-Hayakawa, Japan. Soc. Home. Econ., vol.49, no.4, pp.409-415, (1998)

## 計算の必要性—小児の事例(2)

熱負荷 { 暑熱環境下(外気温上昇)  
太陽光

- ◆ 2つの要因を十分に考慮し、検討した例はほとんどない



- ◆ コンピュータで解析(仮想的な実験)できないか？

## 計算の必要性—高齢者の事例(2)

- ◆ 総患者数に占める高齢者の割合は約半数
- ◆ 屋外よりも室内で生ずる場合がある。
- ◆ エアコンをつけないことが直接的な原因か？
- ◆ 加齢に伴う発汗の遅延、発汗率の低下が指摘されている<sup>†, ††</sup>。

### 成人と高齢者の形態的・機能的な相違

- 高齢者は個体差によるばらつきが大きくなる<sup>†††</sup>
- 高齢者の体温調節に関して測定事例はあるものの、相違の主たる要因を明らかにした事例はなかった

† : J. P. Crowe and R. E. Moore, J. Physiol. Vol.236, pp.43P-45P(1974).

†† : Y. Inoue, M. Shibasaki, J. Applied Physiol. & Occupational Physiol., vol.74, pp.78-84 (1996)

††† : O. Baror, Int. J. Sport., vol.1, pp.53-65, (1980)

# 計算機上で再現した人体



日本人成人男性モデル  
\* 高齢者も同じモデル

3歳小児モデル

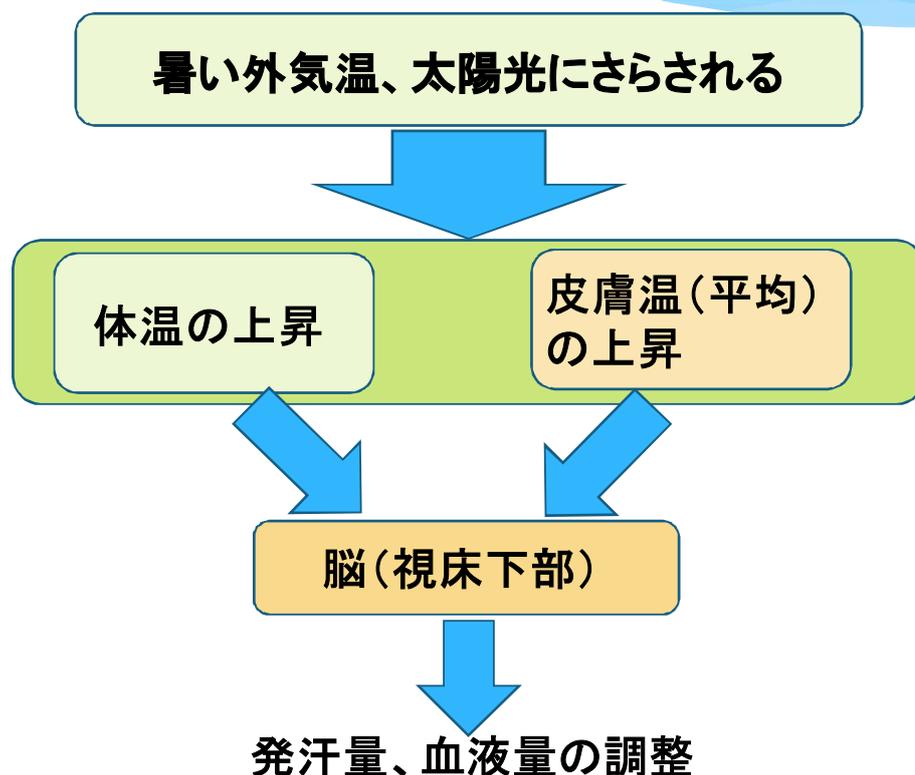
各モデル51の組織・器官  
を考慮

各組織に、**物理**定数(電気  
特性、熱特性)を入力

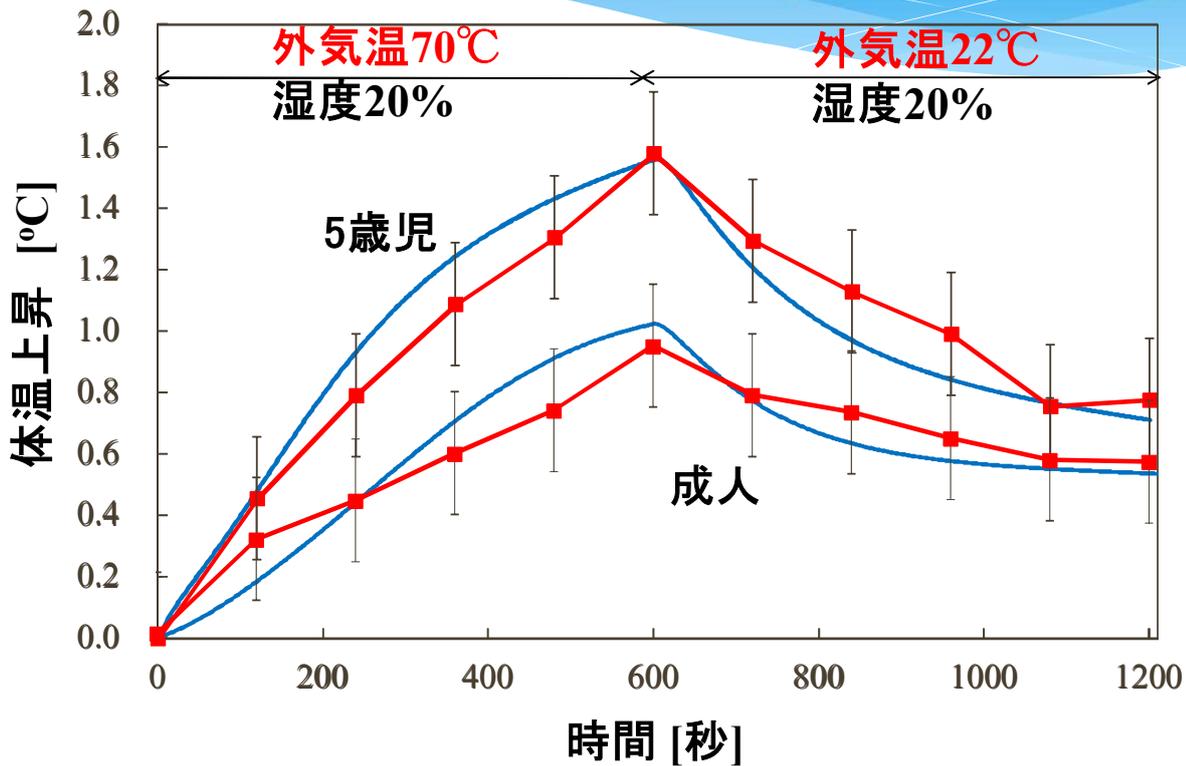
**熱調整反応**(脳からの指  
令)を考慮

† : 情報通信研究機構作成

## 温熱調整反応は何で決まる？



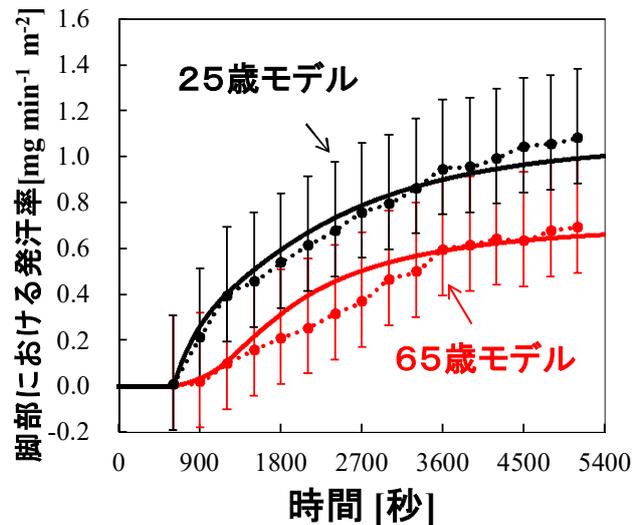
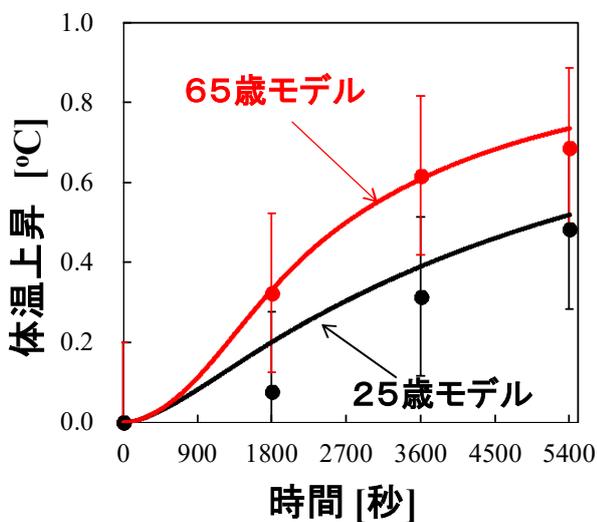
## 計算モデルの検証：成人&5歳児の体温



† : E. Jokinen, I. Valimaki et al, Pediatrics, 1990.

## 計算モデルの検証：成人&高齢者の体温

外気温40°C 湿度42%



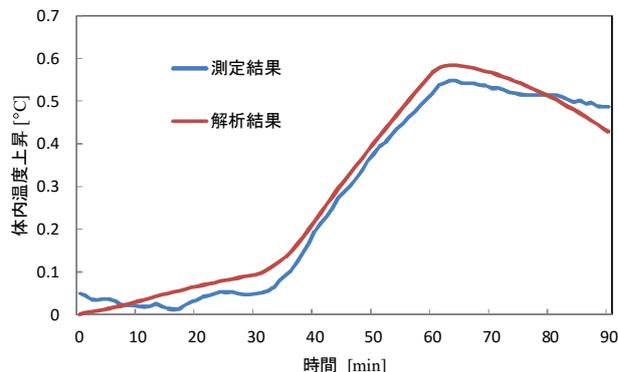
† : Dufour et al, Eur. J. Appl. Physiol., 2004

# 計算モデルの検証：運動環境



## 総発汗量の比較

測定結果（平均）	398.0 g
解析結果	396.6 g



体温上昇の比較（成人男性）

※3：榎本ヒカルら「暑熱作業環境下での水分摂取量の違いが人体に及ぼす影響。」労働安全衛生研究4.1 (2011):7-13.

子供、**高齢者**、成人の**運動環境**でヒトの体温、発汗を模擬可能

## 子供や高齢者の熱調整機能の相違（まとめ）

### 子供（3歳以上）

- \* 体表面積は異なるが、温度上昇に対する**脳からの指令**はほぼ同じ（特定の年齢層は例外あり）
- \* 心臓から送り出される血流量は一定。成人は増加（測定結果に基づく）<sup>†</sup>
- \* 与えられた環境での反応は大きく異なる。

### 高齢者<sup>††</sup>

- \* 汗をかき始める皮膚温度上昇**閾値**を1.5-2.0°C高く設定

<sup>†</sup> : E. Jokinen, I. Valimaki et al, Pediatrics, 1990.

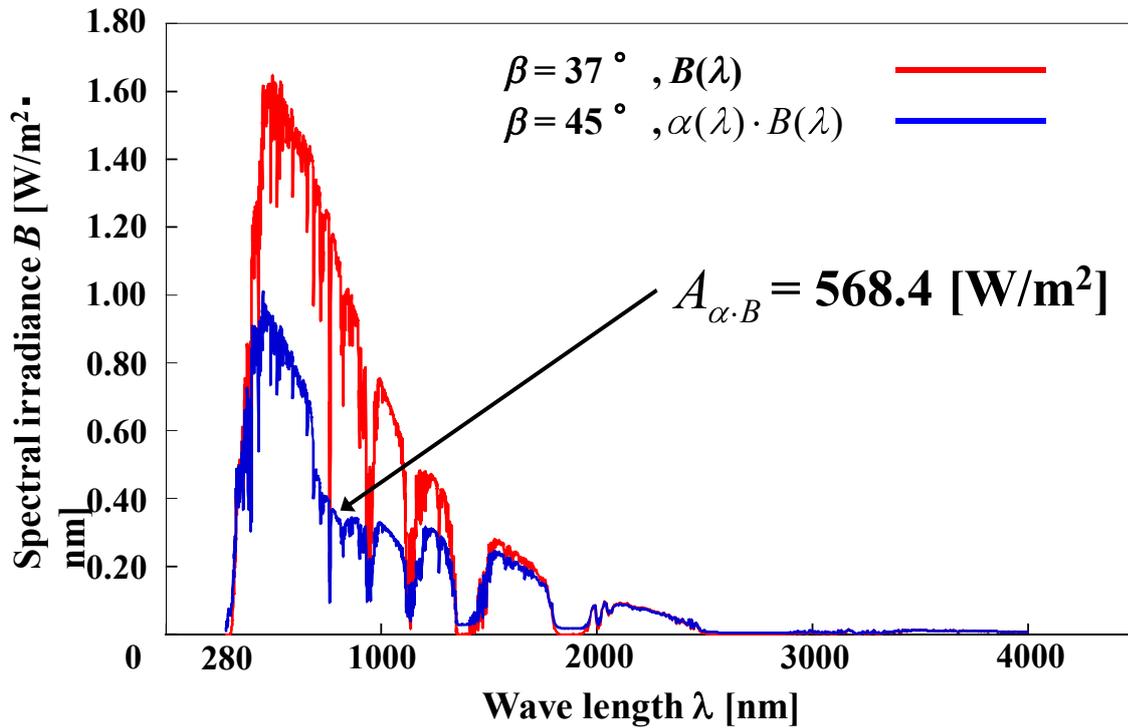
<sup>††</sup> : A. Hirata, T. Nomura, I. Laakso, Physiological Measurement, vol.33, pp. N51-N60, 2012

# 太陽光の人体への吸収

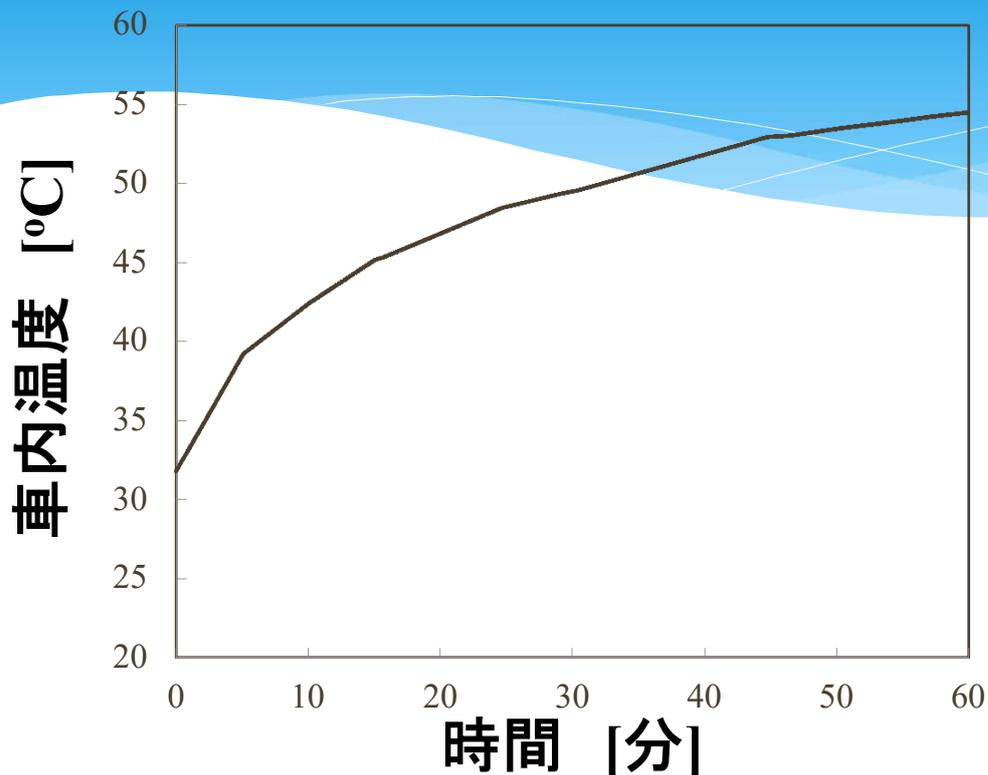
“Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances”, ASTM G173-03, (2007)

$$A_{\alpha \cdot B} = \int \alpha(\lambda) \cdot B(\lambda) d\lambda$$

$\alpha$  : 吸収率 [%]  
 $B$  : 分光放射照度 [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{nm}$ ]



# 車内温度の時間変化の測定例



† : McLaren et al, Pediatrics, 2005.

25歳相当

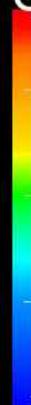


0分

3歳相当



体表面温度  
[°C] 39.5



38

36

34

32

25歳相当



5分

3歳相当



体表面温度  
[°C] 39.5



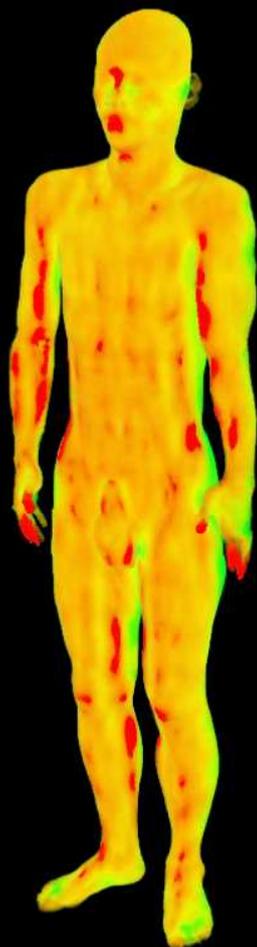
38

36

34

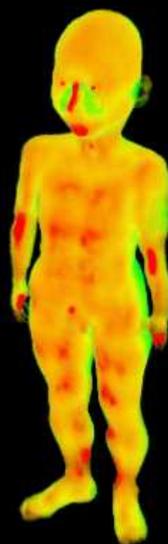
32

25歳相当



10分

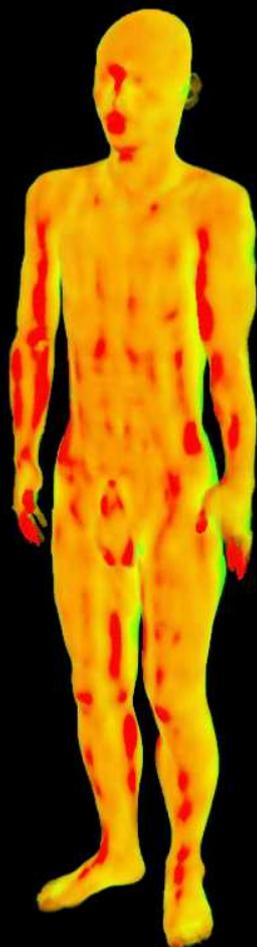
3歳相当



体表面温度  
[°C] 39.5

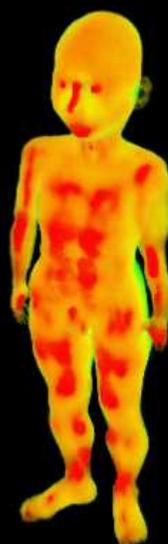


25歳相当



15分

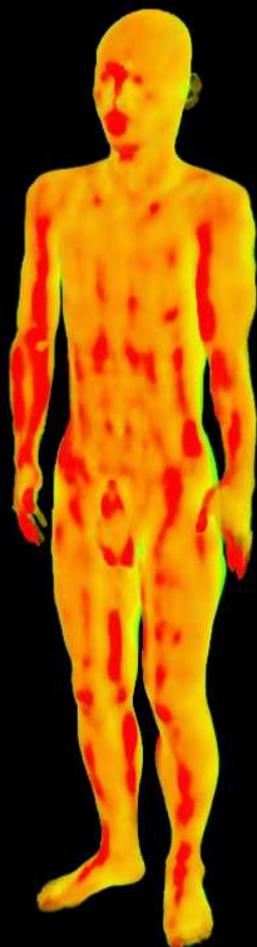
3歳相当



体表面温度  
[°C] 39.5

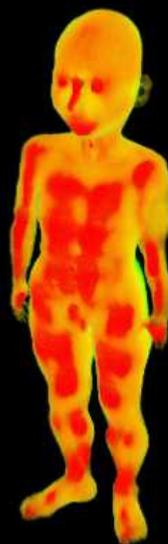


25歳相当



20分

3歳相当



体表面温度  
[°C] 39.5



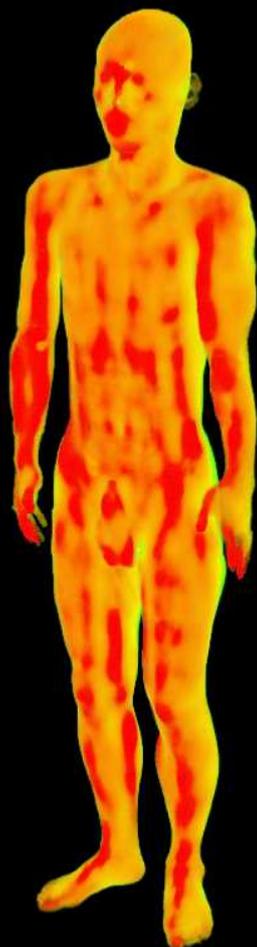
38

36

34

32

25歳相当



25分

3歳相当



体表面温度  
[°C] 39.5

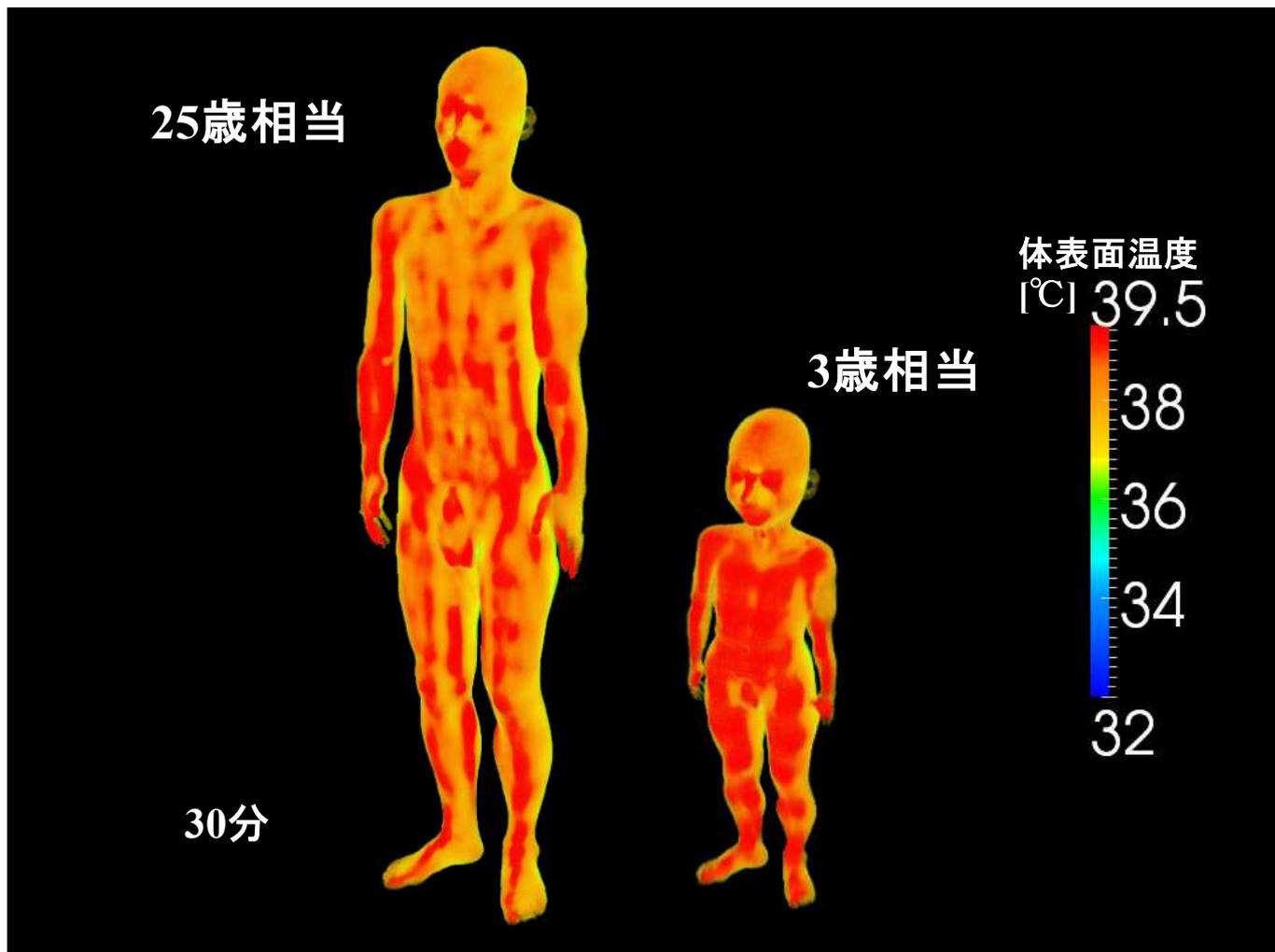


38

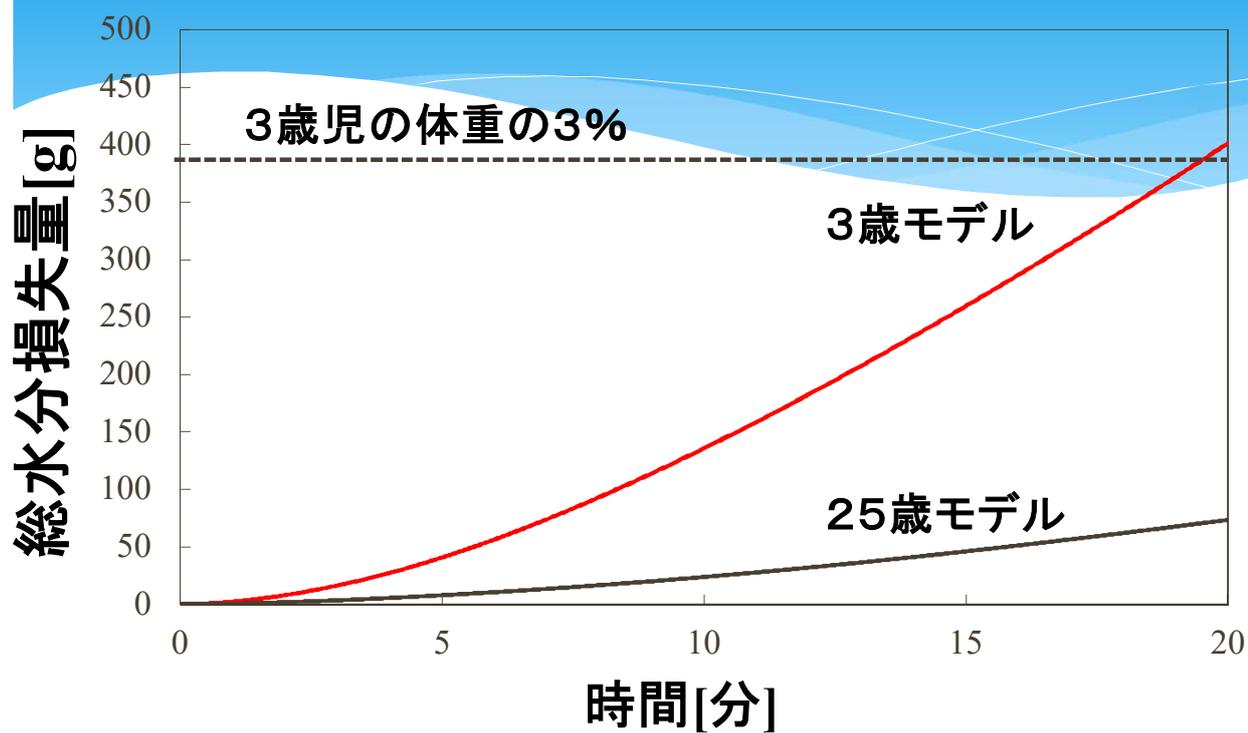
36

34

32

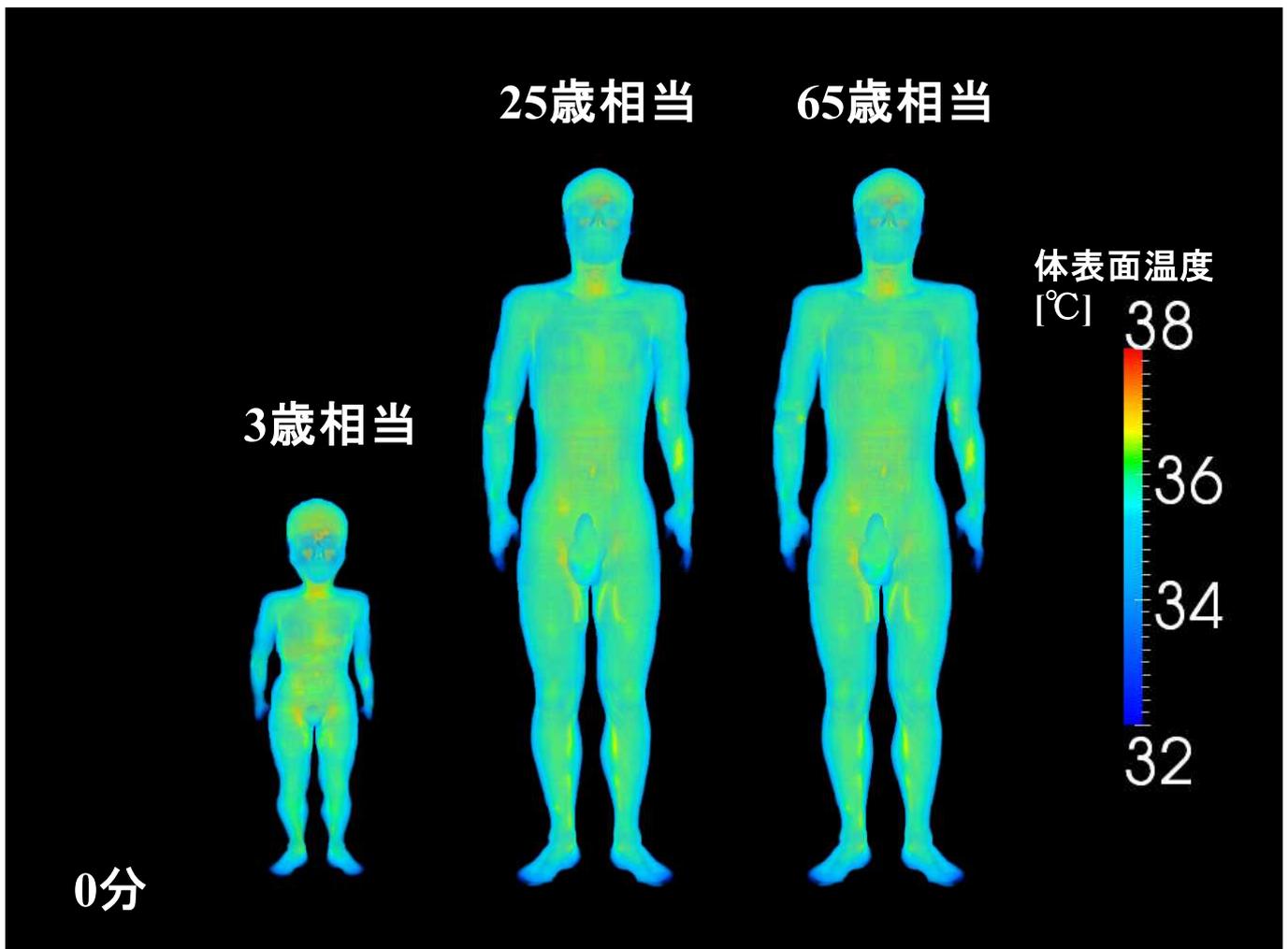


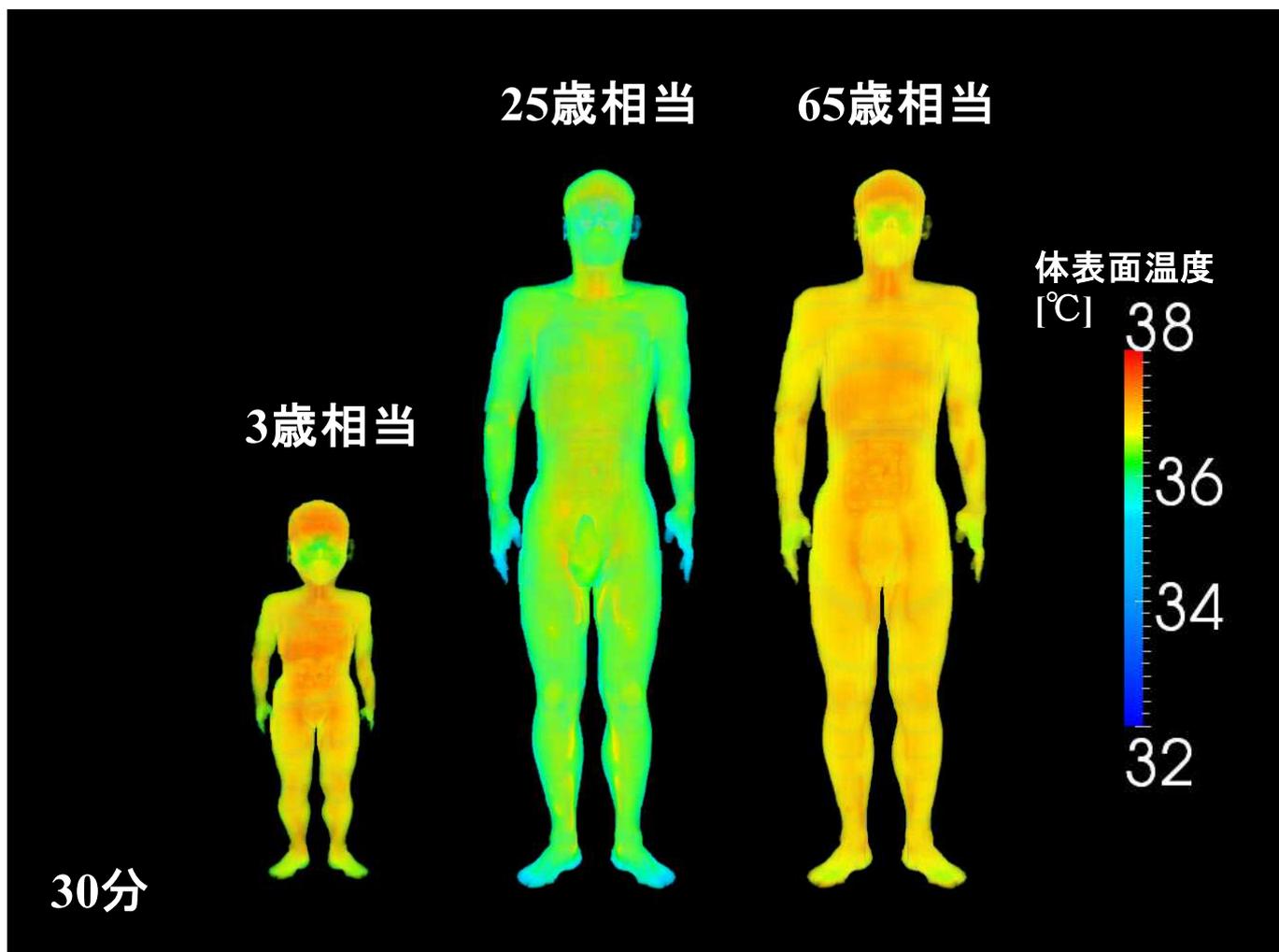
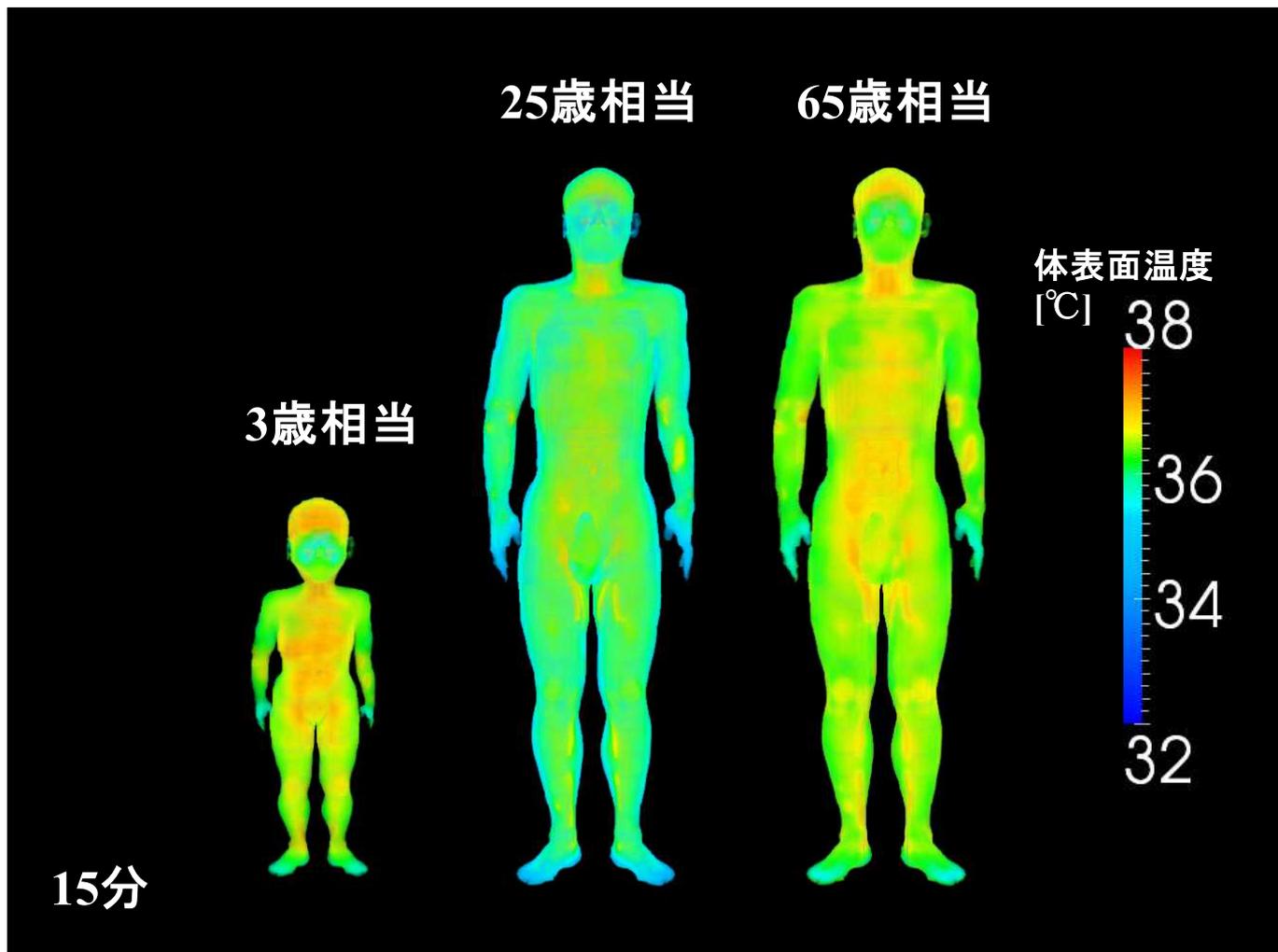
## 総水分損失量の時間変化

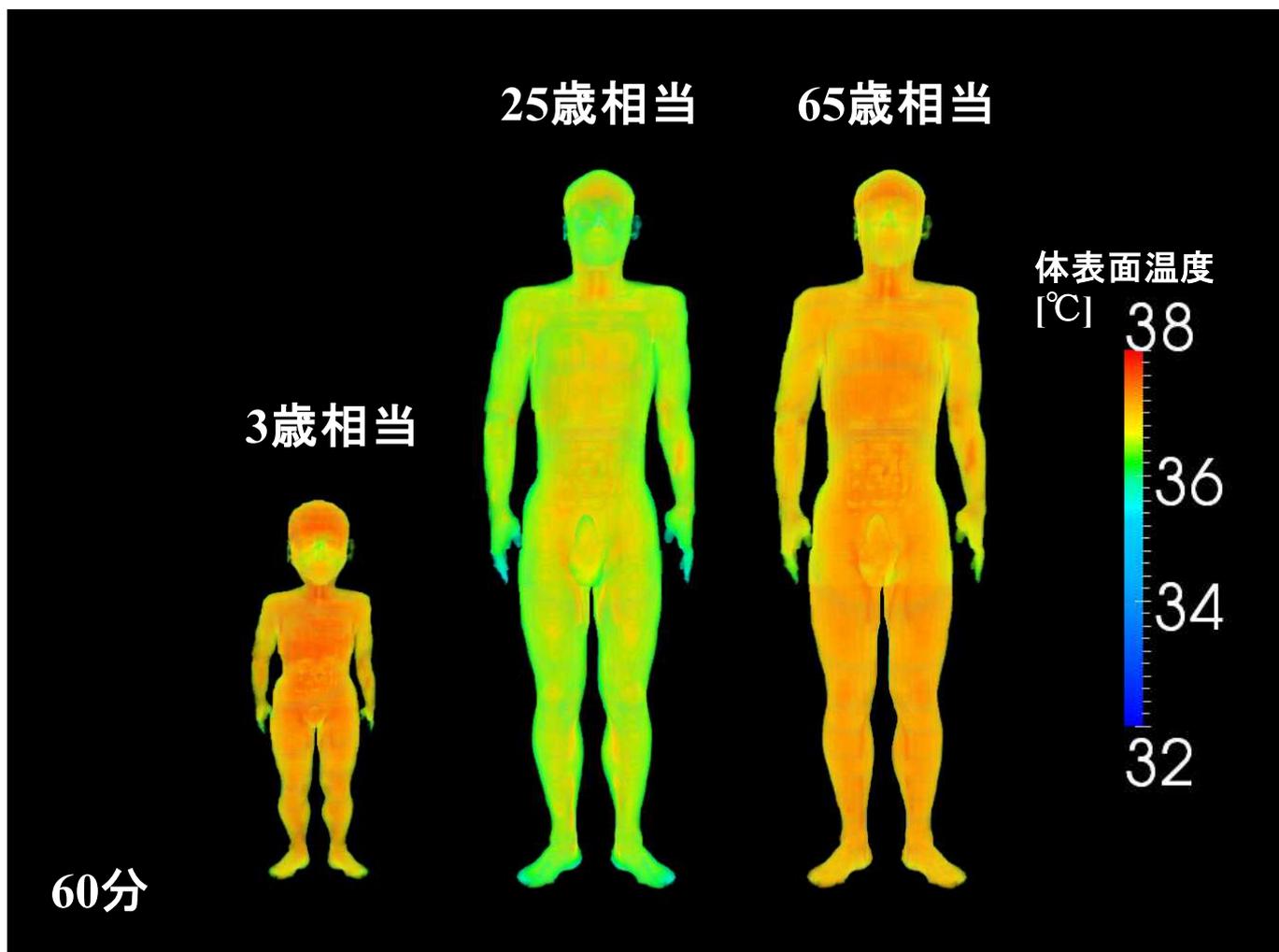
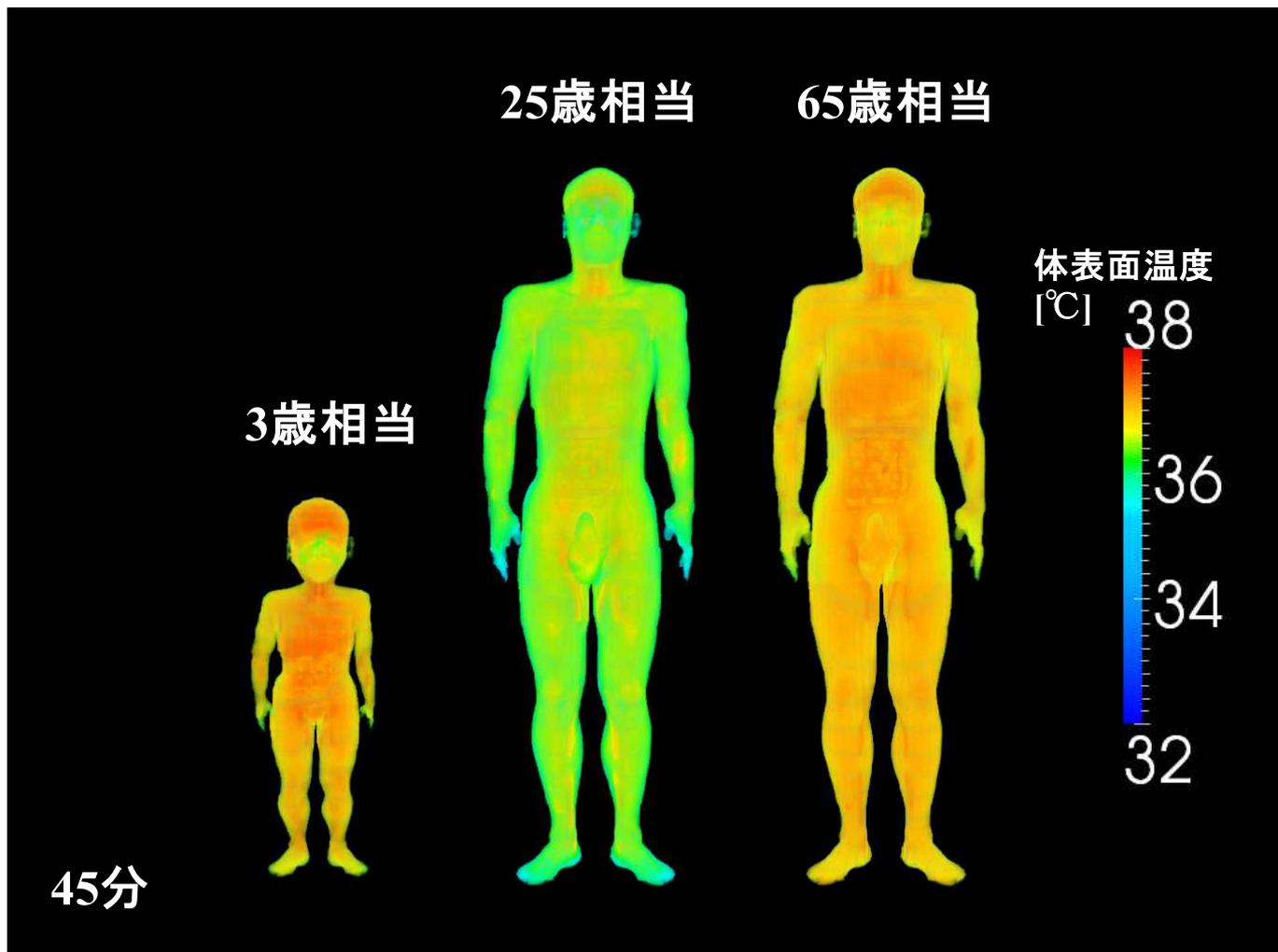


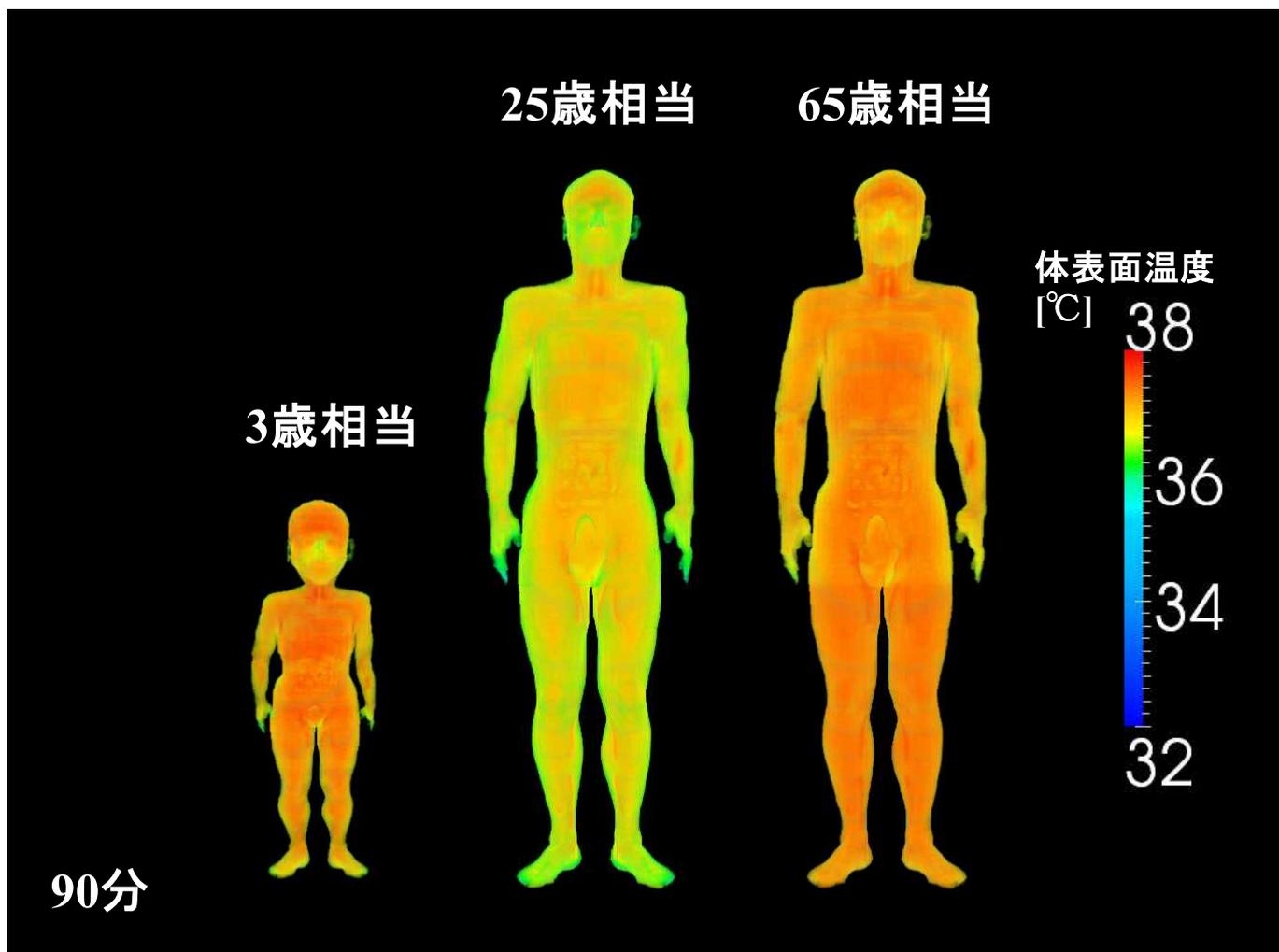
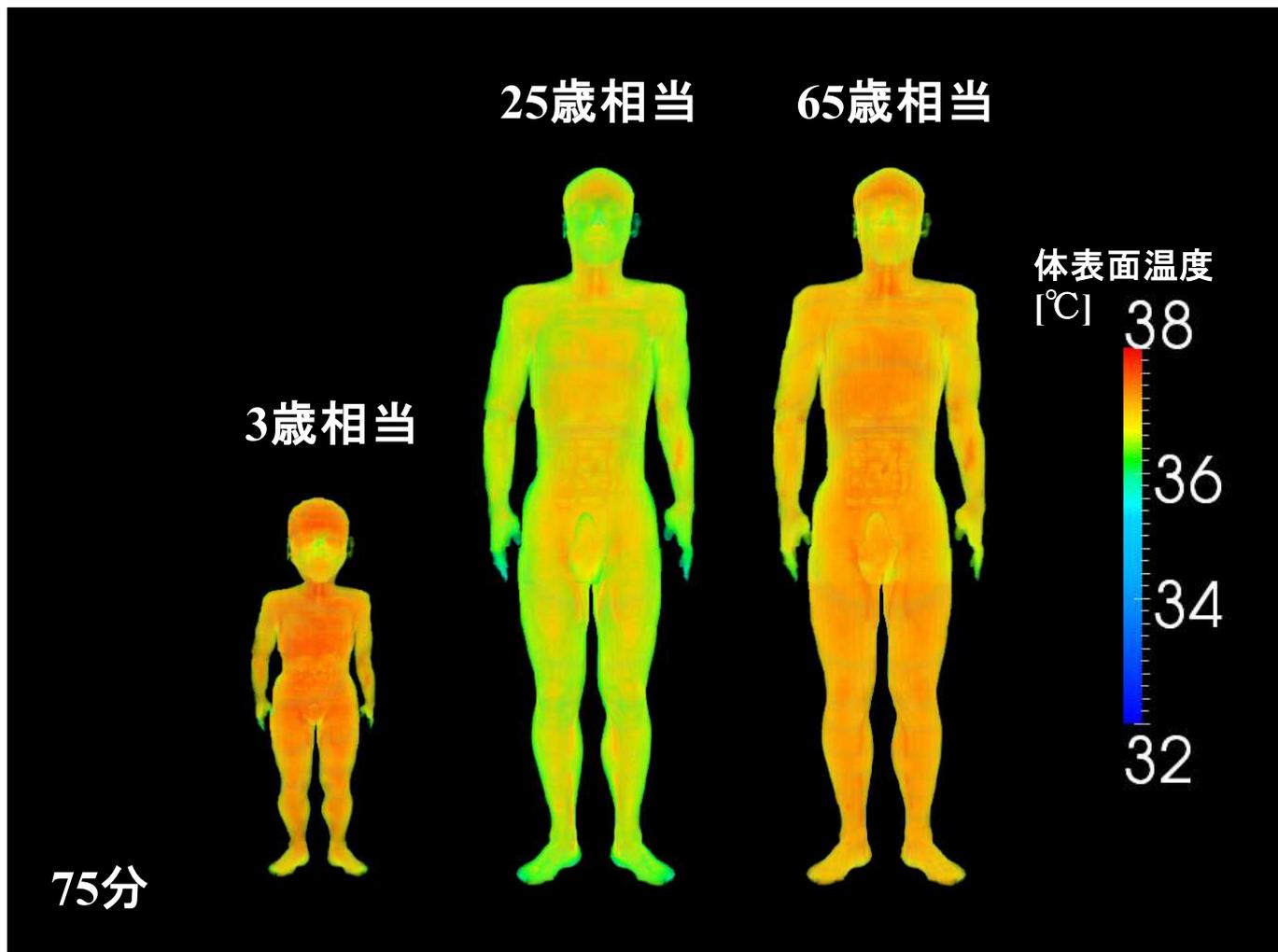
# 高齢者vs成人の温度上昇

- 高齢者の搬送事例は、屋内の場合が少なくない。
- 温度37.5°C、湿度60%
- 大都市圏における夏の最高温度に相当
- 湿度は40-50%となる。少し高めの室内を想定
- 太陽光の入射は考えない

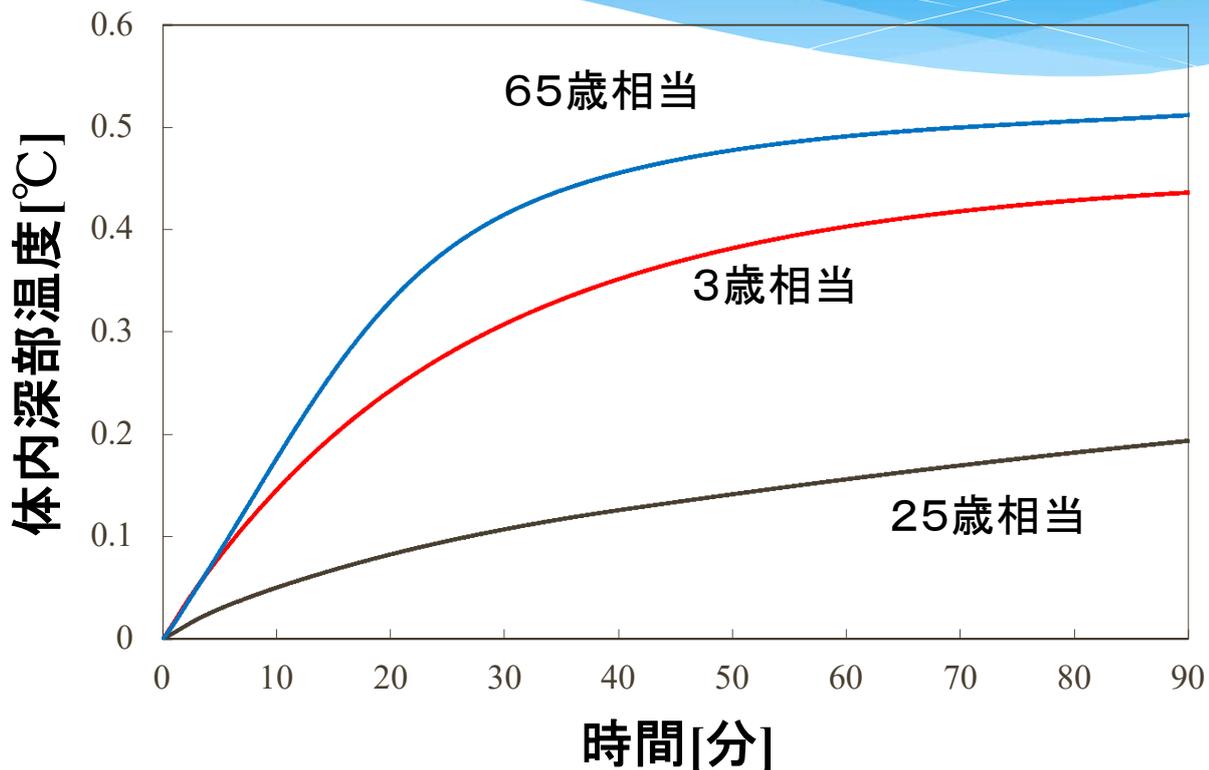




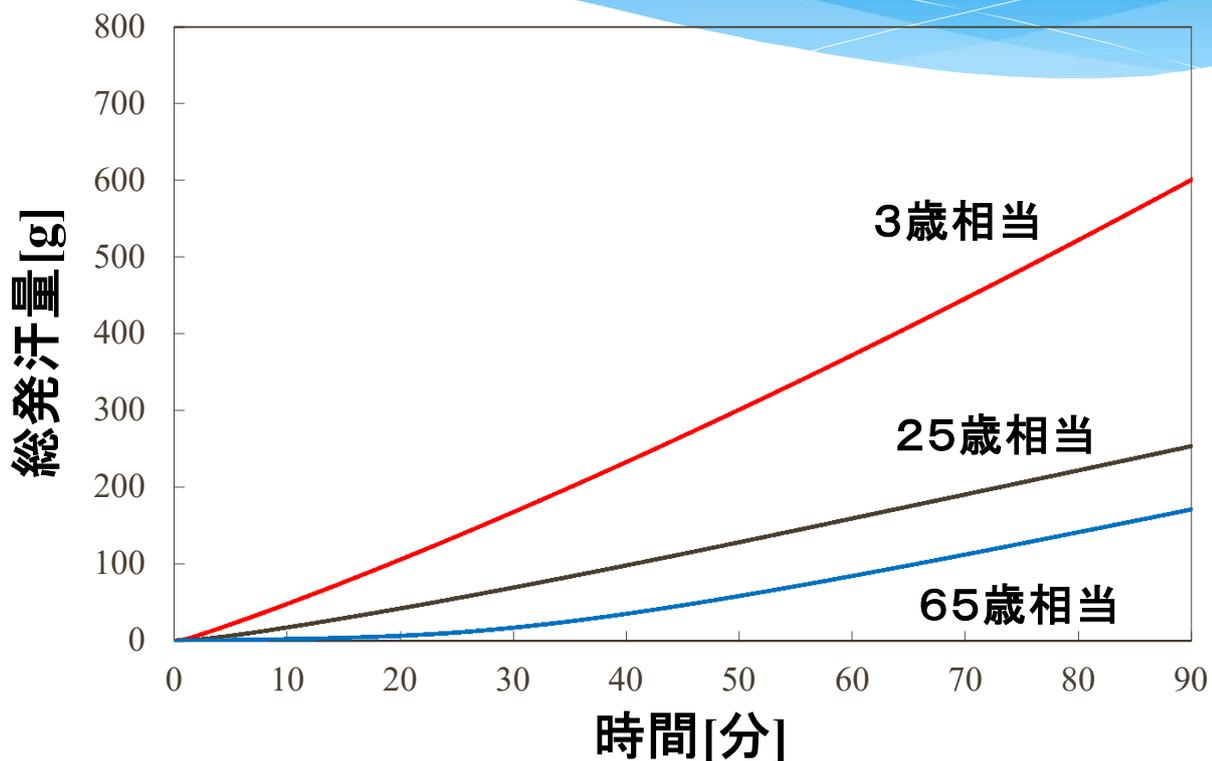




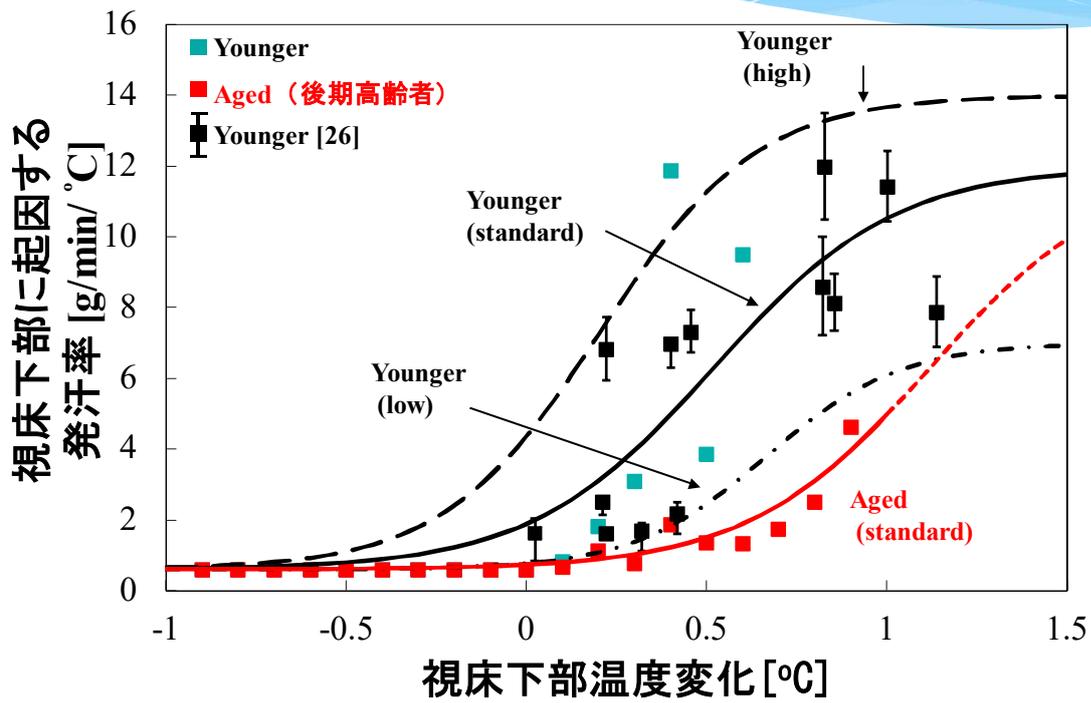
# 体内温度上昇の時間変化



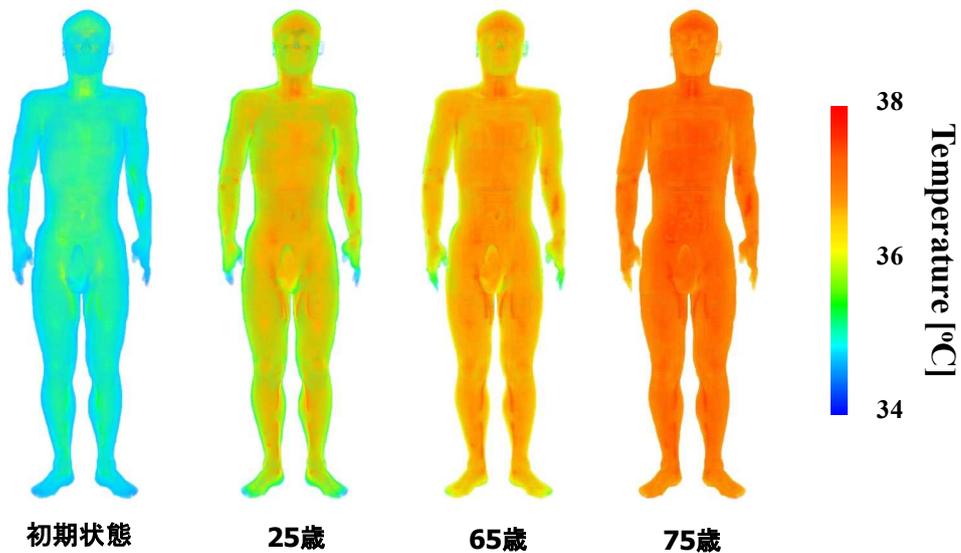
# 総水分損失量の時間変化



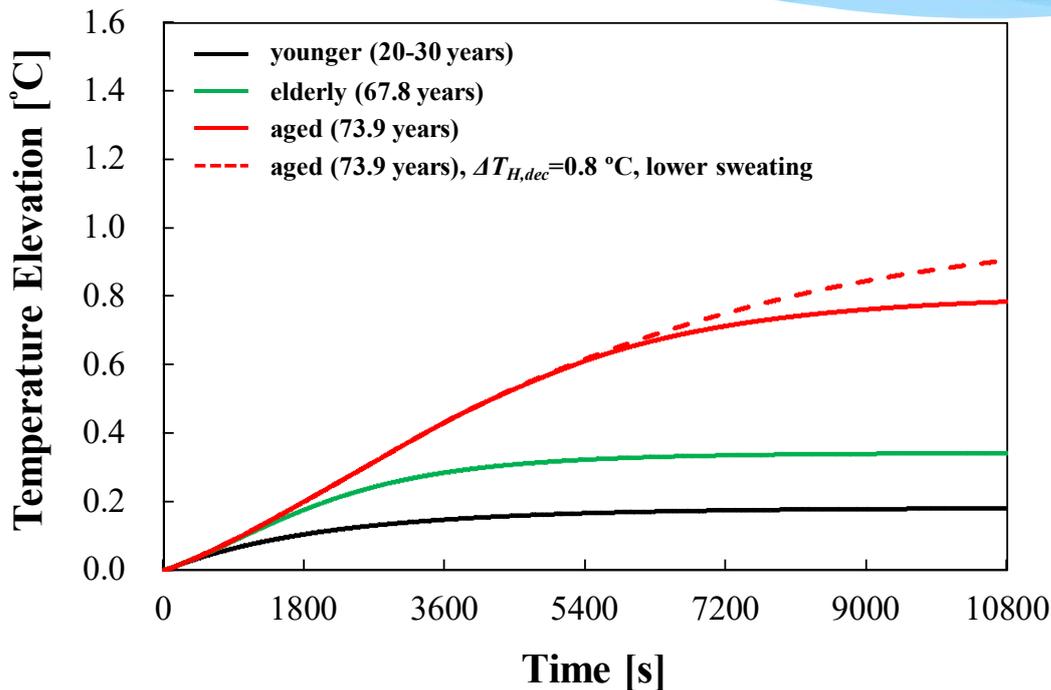
# 後期高齢者は・・・？



室温32.5°C 湿度60% 90分後



室温32.5°C 湿度60%



## 何ができるのであろうか？

環境省・熱中症マニュアルによれば、(1)暑さを避ける、(2)服装を工夫する、(3)こまめに水分補給、(4)急に暑くなる日に注意、(5)暑さに備えた体づくり、(6)個人の条件を考慮、(7)集団活動の場でお互いに配慮

今回の講演で知ってほしいことは、

- 高齢者と成人の感覚のずれ
- 子供の場合には、成人に比べて体温上昇が大きく、発汗量が多くなる可能性
- 感覚にたよらず、気温、湿度を確認
- 項目(6)(および(3)、(4))を補うコンテンツの開発