

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年3月31日現在

機関番号：32612

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22656125

研究課題名（和文） 入浴環境における熱中症被害軽減のための人体温熱生理モデルの開発

研究課題名（英文） Development of a Human Physiology Model to Reduce Damage from Heatstroke in Bathing Environment

研究代表者

伊香賀 俊治 (IKAGA TOSHIHARU)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：30302631

研究成果の概要（和文）：

被験者実験を行い、入浴時の高齢者に対応した体温予測モデルを開発した。そして本モデルが高齢者の入浴時の体温が精度良く再現されていることを検証した。またインターネットアンケート調査と入浴事故に関する症例データを基に、体温と熱中症リスクの関係の定量化を行った。さらに住宅仕様の改善による熱中症リスク低減効果を明確にすることを目的とし、“住宅仕様”、“入浴方法”、“体温上昇”、“熱中症リスク”の各関係を定量的に把握し、高齢者の入浴時の熱中症リスクを評価した。

研究成果の概要（英文）：

A predicting model of senior's body temperature during bathing was developed by conducting the subject experiment. It was demonstrated that the model is able to reproduce the experimental value with high accuracy and is of practical use to simulate actual conditions. The relationship between body temperature and a risk of heat stroke was quantified based on results of an online questionnaire survey and actual data of bathing accident. In this study, each relationship of "housing characteristics", "bathing habits", "body temperature" and "risk of heat stroke" was understood quantitatively, and the risk of heat stroke of seniors during bathing was evaluated in the case of improving housing characteristics.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	0	1,700,000
2011年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	450,000	3,650,000

研究分野：建築環境工学

科研費の分科・細目：建築学 建築環境・設備（5302）

キーワード：入浴環境、熱中症、体温予測モデル、被験者実験、アンケート調査、住宅仕様、入浴方法

1. 研究開始当初の背景

(1) 社会的背景

近年、我が国において、交通事故による死亡者数を家庭内事故による死亡者数が上回っているという現状がある(図1)。また家庭内事故の内、約3割が入浴中の死亡事故であり、これは喉に物をつまらせる等の窒息死に次いで多く、毎年増加傾向にある。入浴事故の増加の原因として、高齢化という社会背景や、浴槽内で入浴する日本独特の入浴様式、断熱気密性の劣悪な隙間風の多い住宅に住んできたことで、湯冷めを防ぐために熱い浴槽に比較的長時間浸かる習慣があるなどの文化的背景がある。従来、入浴事故の原因は心疾患や脳血管疾患などが有力視されてきたが、実際の救急医療現場からは心肺停止や意識障害の患者が多いという報告がある。体温の上昇により意識障害が発生する可能性が高まるという医学分野の知見から、入浴中の死亡事故は、熱い湯船に長時間つかることによる体温上昇のために発生する熱中症が原因であると考えられる。日本人が毎日行う入浴においてこのような死亡事故の予防が強く望まれている。

(2) 学術的背景

一般的な入浴環境における人体生理の変化に関しては、建築を含め医・薬・生理学等、多分野にわたる研究蓄積がある。しかし、生命が危険な状態に陥る入浴環境を評価した研究は殆ど無い。

これは死亡事故が発生するような危険な入浴環境を被験者実験により検討することが困難であるためである。そこで、室温や湿度などの環境条件や、年齢、性別、体格などの人体の条件を入力することで、人体生理応答や人体周辺環境との熱や水分のやりとりの計算が可能な、人体温熱生理モデルを用いた解析が有効であると考えられる。

2. 研究の目的

近年、わが国における家庭内の死亡事故は交通事故を上回り、中でも入浴中の死亡事故が増加傾向にある。入浴中の死亡事故は、熱い湯船に長時間浸かり、体温が上昇することで発症する熱中症が原因であると考えられている。そこで、本研究では熱中症による入浴中の健康被害を軽減するために、入浴環境における熱中症発生のメカニズムを明らかにし、入浴時に対応した人体生理量変化を精度よく再現することができる新しい人体温熱生理モデルの開発を行う。更に、危険な入浴環境を評価する指標を構築することで、人体にとって危険な湯温や入浴時間などの提示し、入浴方法の改善策を示すとともに、住宅の断熱気密性を改善することで得られる

熱中症のリスクの低い入浴環境を提案する。

3. 研究の方法

(1) 入浴時の体温予測モデルの開発

入浴方法が体温変化に与える影響の定量評価には、人体温熱生理モデルを用いた数値解析が有効である。しかし、入浴時に対応したモデルは存在しない。そこで、既往の人体温熱生理モデル(Two-nodeモデル)を基に入浴時の若年者に対応した体温予測モデルを開発した(図1)。まず、健康な成人男性6名を被験者として、入浴実験施設において2011年10月4日~7日に入浴実験を行い、入浴方法と体温上昇の関係を把握した。次に、実験結果を基に既存の人体温熱生理モデルのパラメータを決定し(表1)、入浴時の体温を精度良く再現するモデルへと改良を行った(図2)。

(2) 高齢者に対応した入浴時の体温予測モデルの開発

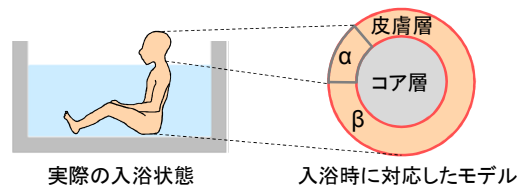


図1 入浴時の体温予測モデルのイメージ

表1 入浴時のTwo-nodeモデルのパラメータ

	Two-nodeモデル	入浴時に対応したモデル
対流熱伝達率 [W/m ² K]	3.0	96.8
放射熱伝達率 [W/m ² K]	4.7	0.0
蒸発熱損失量 [W/m ²]	変動値	0.0
皮膚血流量最大値 [l/m ² h]	90	180 ^{文3)}

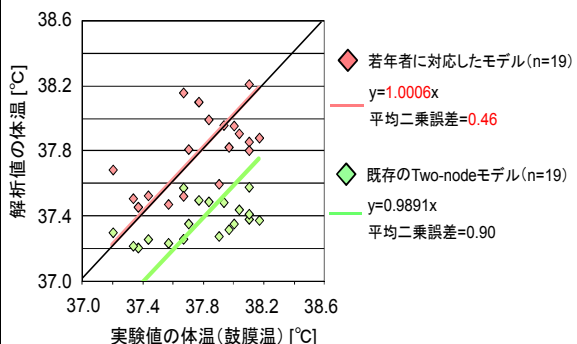


図2 若年者に対応したモデルの精度検証

若年者に対応した体温予測モデルを高齢者に対応したモデルへと改良した。高齢者は成人に比べ、発汗量・皮膚血流量・基礎代謝量が減少することから、文献を参考にパラメータを変更した。その一例を表2に示す。

表2 高齢者の入浴時体温予測モデルのパラメータ

	Two-nodeモデル	入浴時の高齢者に対応したモデル
発汗制御係数	170	123
血管拡張係数	200	104

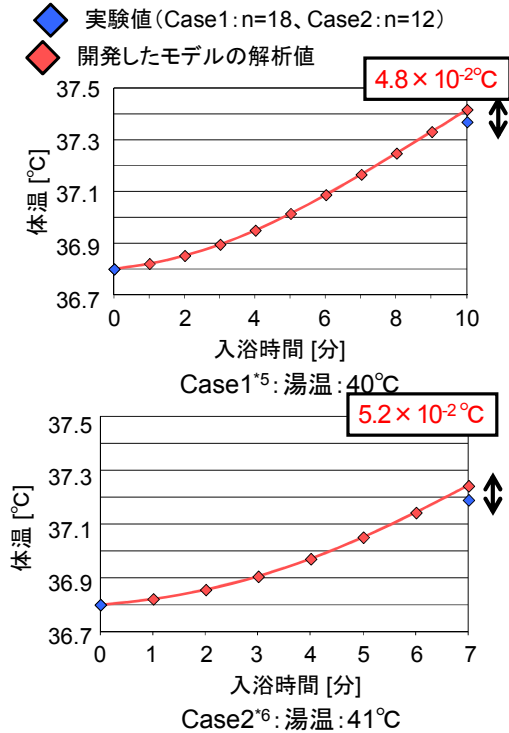


図3 高齢者に対応したモデルの精度検証

開発したモデルの精度の検証には、入浴が高齢者の体温変化に与える影響を被験者実験により調査した文献の結果を使用した。Case1: 湯温 40°C、Case2: 湯温 41°Cとし、体温の時間変化を比較した(図3)。その結果、出浴直前の体温の差が Case1: $4.8 \times 10^{-2} \text{°C}$ 、Case2: $5.2 \times 10^{-2} \text{°C}$ であったことから、開発したモデルは高齢者の入浴時の体温を十分な精度で再現できることを確認した。

(3) 入浴時の体温と熱中症リスクの把握

入浴中の事故経験や体調不良の有無を把握するため、全国の65歳以上の高齢者を対象にインターネットアンケート調査を実施した。2,146名の有効回答の内訳を図4に示す。また入浴時の体温と症状の関係を分析した結果を図5に示す。

さらに、東京消防庁が1999年に設置した「入浴事故防止対策調査研究委員会」が1999年10月から2000年3月までの6か月間、管轄内の全救急隊に行ったアンケート結果(1,087件)から、以下のスクリーニング条件①~⑨を満たしている患者254名と救急隊

が到着した時に既に死亡しており、病院に搬送されなかった患者が7名を合わせた合計261名のデータ分析を行った結果を図6に示す。体温が39.5°Cの場合、約75%の人は熱中症にならないが、約20%の人は立ちくらみやのぼせといった熱中症の初期症状が見られることになる。更に、約4%の人が救急隊の救助を要する程の症状を訴え、その中でも約2%の人が危険な状態に陥る。

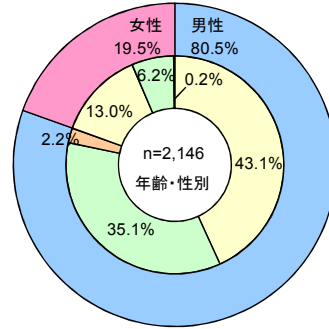


図4 調査対象の年齢・性別内訳

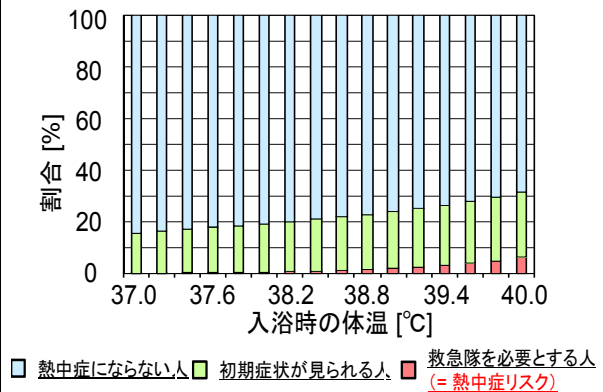


図5 入浴時の体温と症状の関係

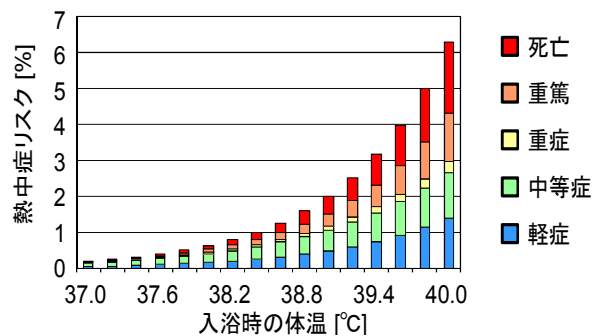


図6 熱中症リスクの内訳

- ①事故種別が一般負傷であるものは除く
- ②事故が発生した場所は浴槽内に限る
- ③飲酒を行っていない人に限る
- ④救急事故現場の傷病者の状態が外傷を除く

- く
- ⑤ 病院搬送時の症状が外傷である人を除く
- ⑥ 搬入時の CT スキャンで異常が見られた人（くも膜下出血等）を除く
- ⑦ 65 歳以上未満の人を除く
- ⑧ 事故発生までの時間が記載されている
- ⑨ 浴槽湯温（熱い・適温・ぬるい）が記載されている
- ⑩ 病院搬入時の容態程度（軽症・中等症・重症・重篤・死亡）が記載されている

(4) 住宅の断熱性能と入浴方法の関係

住宅仕様（断熱性能・暖房設備）と入浴方法（入浴時間・湯温）の関係を把握するため、全国の戸建住宅居住者を対象にインターネットアンケート調査を実施し、2,146 名の有効回答を得た。例として、温暖地に住む 60 代の男女で、居間・寝室・浴室を暖房設備している人の結果を図 7 に示す。断熱性能が高いほど入浴時間は短く、湯温は低い傾向が得られた。

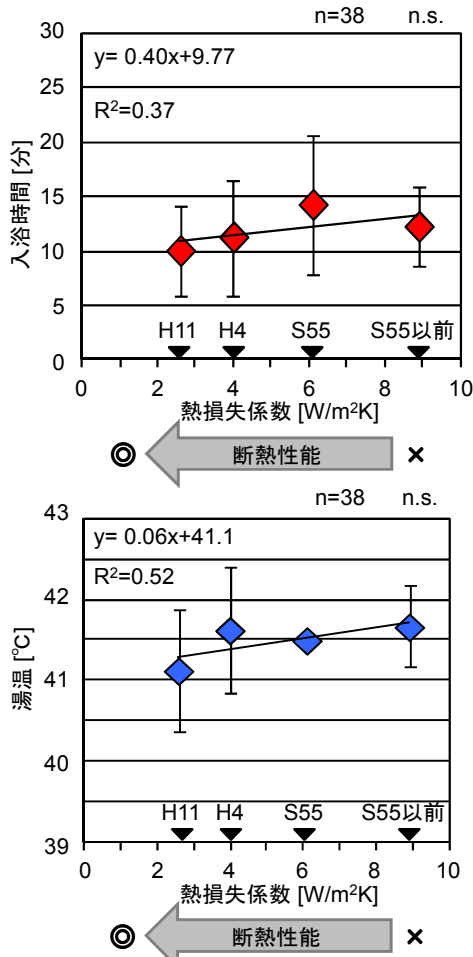


図 7 住宅の断熱性能と入浴方法

- (5) 高齢者の入浴時の熱中症リスク評価
- ① 暖房設備の充実度でケース分けしない場合

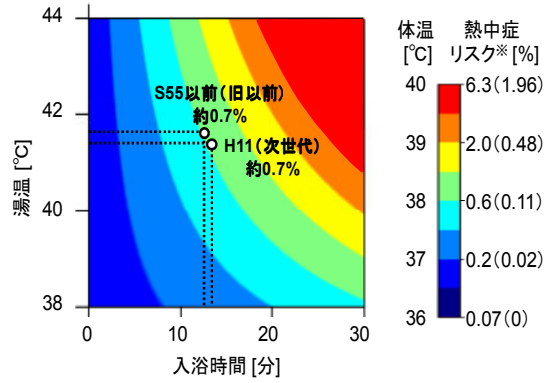


図 8 住宅の断熱性能向上による熱中症リスクの変化
(温暖地：暖房設備の充実度に拘らない場合)

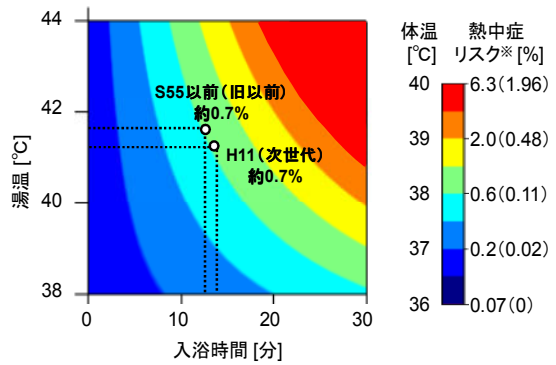


図 9 住宅の断熱性能向上による熱中症リスクの変化
(温暖地：居間・寝室に暖房設備がある場合)

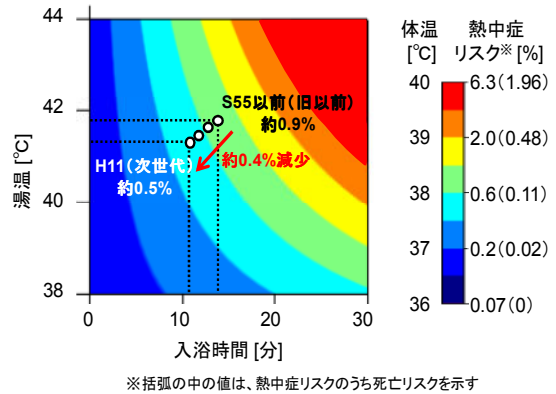


図 10 住宅の断熱性能向上による熱中症リスクの変化
(温暖地：居間・寝室・浴室に暖房設備がある場合)

断熱性能を改善した場合における入浴方法、体温上昇、熱中症リスクの関係を可視化した結果を図 8 に示す。

暖房設備の充実度でケース分けをしない場合、住宅の断熱性能向上（S55 基準以前から H11 年基準へ）によって入浴方法は変わり、熱中症初期症状が見られる人の割合は、S55 基準以前が 0.7%（1000 人中 7 人）で、H11 基準でも 0.7%（1000 人中 7 人）となり、断熱性能向上に伴う熱中症リスク低減効果はほ

とほとんどなかった。

②居間・寝室に暖房設備を有している場合

居間・寝室に暖房設備を有している場合、暖房設備の充実度でケース分けをしない場合と同様に、断熱性能向上によって、入浴方法は変わったが、熱中症リスクに変化は見られなかった(図9)。熱中症初期症状が見られる人の割合も S55 基準以前が 0.7% (1000 人中 7 人)、H11 基準での 0.7% (1000 人中 7 人) となり、断熱性能向上に伴う熱中症リスク低減効果はほとんどなかった。

③居間・寝室・浴室に暖房設備を有している場合

居間・寝室・浴室に暖房設備を有している場合、断熱性能の改善により入浴方法は変わり、それに伴って熱中症リスクが低減した(図10)。熱中症初期症状が見られる人の割合も、S55 基準以前が 0.9% (1000 人中 9 人)、H11 基準が 0.5% (1000 人中 5 人) と減少した。つまり、断熱性能向上と合わせて、浴室暖房を導入することで 1000 人中 4 名の入浴事故防止につながる事がわかる。

4. 研究成果

住宅仕様、入浴方法、体温上昇、熱中症リスクの関係を定量的に把握し、高齢者の入浴時の熱中症リスクを評価した。住宅仕様から熱中症リスクまでを体系的に把握することで、居住者は入浴時の熱中症を予防する住宅仕様や入浴方法を選択することが可能となった。よって本研究の成果は、今後も更なる増加が懸念される高齢者の入浴時の熱中症予防の一助となると考えられる。

今後は、入浴中の熱中症リスクの定量化をより正確に行うために、住宅仕様・入浴方法等に加え、入浴習慣・収入等の経済面の影響を考慮した分析を行う必要がある。またアンケート調査対象に関しては、居住地域や様々な断熱性能の住宅の回答者をサンプルとして抽出し、全国満遍なく回答者を確保した上で、分析を行う必要がある。

これらの推進方策に則ることで、より明確に入浴中の熱中症を予防する方法を示すことができると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 5 件)

(1) 伊香賀俊治, 堀進悟, 鈴木昌, 「熱中症の視点から見た高齢者の入浴事故予防策の検討」, 空気調和・衛生工学会大会 (札幌) 学術講演会, 2012 年 9 月 5-7 日 (発表決定)

(2) 杉本有梨, 伊香賀俊治, 「住宅の断熱気

密性能が居住者の入浴方法に与える影響の検証」, 空気調和・衛生工学会大会 (名古屋) 学術講演会講演論文集, pp. 525-528, 2011. 09. 14

(3) 杉本有梨, 伊香賀俊治, 「住宅の断熱気密性能が入浴方法に与える影響に関する実測」, 日本建築学会大会 (東京) 学術講演梗概集 D-2 環境工学 II, pp. 24-25, 2011. 08. 23

(4) 杉本有梨, 伊香賀俊治, 堀進悟, 鈴木昌, 高柳絵里, 「入浴時の体温予測モデルの開発と熱中症による死亡・入院リスクの予測」, 日本建築学会大会 (富山) 学術講演梗概集 D-2 環境工学 II, pp. 591-592, 2010. 09. 10

(5) 杉本有梨, 伊香賀俊治, 堀進悟, 鈴木昌, 高柳絵里, 「入浴時の熱中症リスク低減に関する研究」, 空気調和・衛生工学会大会 (山口) 学術講演会講演論文集, pp. 1439-1442, 2010. 09. 02

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊香賀 俊治 (IKAGA TOSHIHARU)
慶應義塾大学・理工学部・教授
研究者番号: 30302631

(2) 研究分担者

堀 進悟 (HORI SHINGO)
慶應義塾大学・医学部・教授
研究者番号: 80129650

鈴木 昌 (SUZUKI MASARU)
慶應義塾大学・医学部・助教
研究者番号: 70265916

(3) 連携研究者

該当なし