

平成 21 年 5 月 15 日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2007 年度～2008 年度
 課題番号：19760403
 研究課題名（和文） 屋外を移動・滞留する人体への周囲のストレス変化に基づく
 環境快適性評価に関する研究
 研究課題名（英文） Study on evaluation of environmental comfort with changing
 thermal stress to a human body moving and resting in outdoor space
 研究代表者 吉田伸治 (YOSHIDA SHINJI)
 福井大学・工学研究科・准教授
 研究者番号：50343190

研究成果の概要：数値シミュレーションに基づく屋外歩行者の移動・滞留に伴う温熱環境の変化を考慮した歩行空間の温熱快適性の評価手法を開発した。本研究では、被験者実験、屋外温熱環境実測により歩行空間の温熱環境の現状を把握・分析し、数値解析手法の開発に活用した。本研究で提案する数値解析手法は、今後、公園内の散歩コース内の緑陰、休憩地点の適切な配置、並びに街路内の温熱環境評価への適用が期待される。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,200,000	0	2,200,000
2008 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	330,000	3,630,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築環境・設備

キーワード：歩行者、被験者実験、CFD 解析、人体体温調節モデル

1. 研究開始当初の背景

(1) 屋外空間の温熱快適性評価手法確立の必要性

熱中症患者の増加に代表される様に都市部の夏季屋外温熱環境は劣悪の一途を辿っている。これを緩和し快適な屋外空間を提供できる設計技術の整備が必要であるが、設計の良悪を判断する屋外空間の温熱快適性の評価尺度は確立されていない。

(2) 屋外空間の環境評価を困難とするもの—環境条件の不均一性と非定常性

屋外空間の温熱快適性の評価尺度の体系化が難しいのは、屋外空間では室内のそれと

比べ日射の様な不均一で非定常性の強い熱ストレスの影響が大きいためである。これらのうち、非定常性については「①日中を通じたの周期的変化（太陽位置、温湿度等）並びに一時的変動（気流、乱れ等）に伴う環境条件の変化による非定常性」と、「②屋外生活者の行動に伴う環境条件の変化による非定常性」が考えられ、うち後者についての検討は殆ど行われていない。しかし、実際の生活者の行動を考えると、環境の劣悪な空間での滞在時間を可能な限り少なくし、逆に木陰の様な心地よい空間ではむしろ滞留を好むと推察される。そのため、屋外の熱環境を評価

する場合、生活者の移動・滞留等の行動特性も踏まえた環境評価が必要と考えられる。

2. 研究の目的

屋外での生活者の行動（散歩・移動、滞留）に伴う周囲からのストレス（主として熱）の変化が生活者の温熱快適性に及ぼす影響を生理・心理双方の観点から評価・分析する手法を検討する。

3. 研究の方法

本研究では、温熱環境実験・実測と数値解析（CFD）を基本的な研究手法としており、以下の様な取り組みを行った。

① 恒温恒湿室内を対象とする被験者実験による日射強度と方向性が温熱生理と快適性に及ぼす影響の分析

環境条件を制御可能な恒温恒湿室内において、日射の強度と方向性が温熱生理と快適性に及ぼす影響を被験者実験により分析した。図1に実験室内の被験者と計測機器の配置を、また写真1に実験風景を示す。日射の影響は人工太陽照明灯(SOLAX XC-500)からの照射光を用いた。被験者は福井大学男子学生8名。実験ケースは日射方向を前方・右方・後方、日射強度を100、300W/m²、3.2km/hの歩行（ルームウォーカー使用）の様に変更した6ケースを対象とした。

② 環境ストレス移動測定カートを用いた夏季歩行者の温熱環境実測

放射、対流による不均一性・非定常性の強い環境下の歩行者に対する熱環境の推移を計測するための移動測定カートを製作した。図2にカートを用いた実測イメージと計測器の配置を示す。このカートは、高さ方向別の風速、温湿度分布、周辺から人体へ入射する方向別の（3次元）の日射・長波放射量分布の測定が可能である。

③ 多分割体温調節モデルと連成した屋外温熱環境CFD解析手法

解析手法の流れを図3に示す。境界条件は、実測結果から得られた気象データや建物配置を考慮した形状データ、表面被覆条件によ

って与えられる。風速、気温、放射、湿気の空間分布は、研究代表者らが開発した対流・放射連成CFD解析により予測される。屋外温熱環境の非定常・不均一性を考慮した温熱快適性は、上記の数値解析によって得られた結

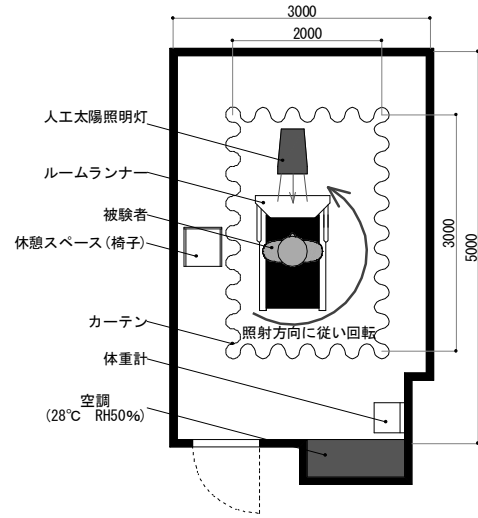


図1 日射の放射方向違いが温熱快適性に与える影響の実験対象



写真1 実験風景

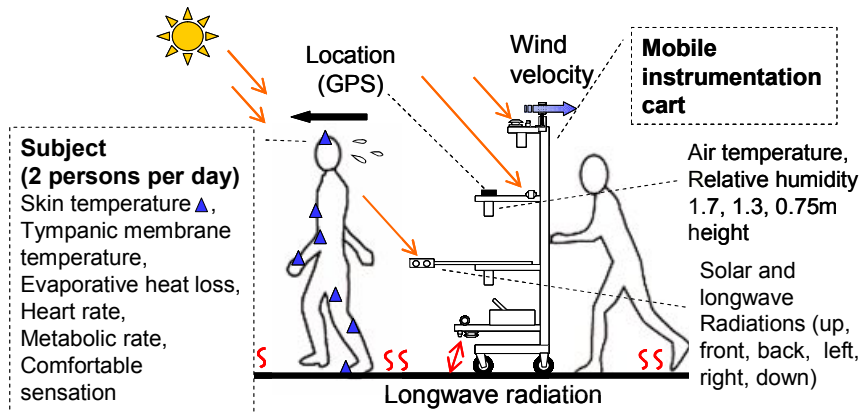


図2 移動計測カートを用いた温熱環境計測のイメージと主な実測項目

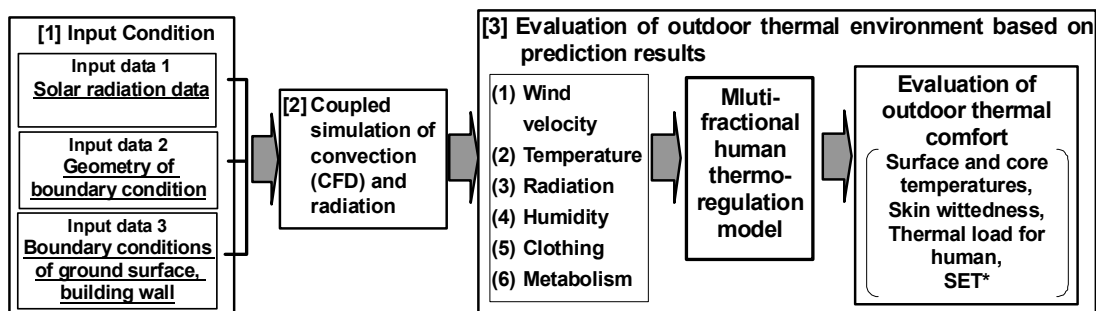


図 3 CFD 連成数値解析に基づく屋外温熱環境評価手法の流れ

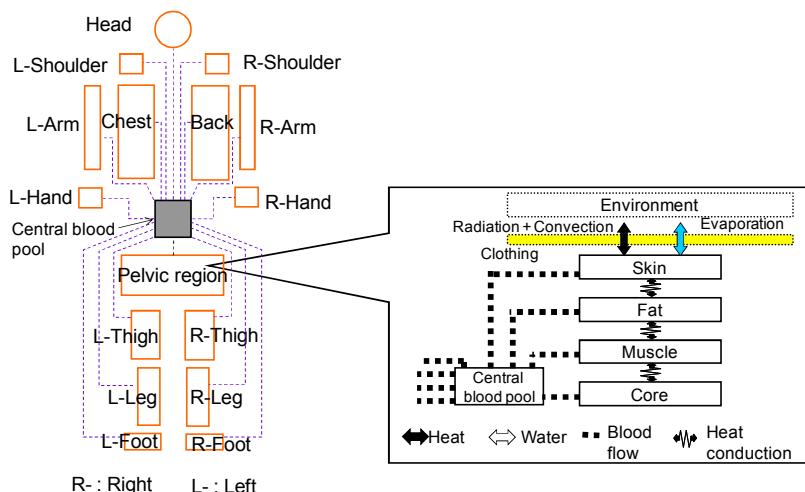


図 4 多分割体温調節モデル 65NM

果を入力条件とした多分割人体体温調節モデルを用いて評価される。人体体温調節モデルには、熱的中性を維持するための血管拡張や収縮、シバリング、発汗による熱発生および熱放散をはじめとする温熱生理のメカニズムを考慮した人体の温熱快適性の評価が可能である。本解析では、田辺らによって開発された多分割体温調節モデルの中でも最も基本的な 65-node の多分割人体体温調節モデル (65MN) を使用する。65MN の部位間の関係を図 4 にまとめる。このモデルには、16 の体の部位 (頭、胸、背中、腰、左肩、左腕、左手、右肩、右腕、右手、左大腿、左下腿、左足、右大腿、右下腿、右足) がある。さらに各部位は 4 つの同心円状の層 (コア層、筋肉層、脂肪層、皮膚層) から成り、また中央血液溜まりという心臓あるいは血管系に相当するものが与えられているため、合計 65 分割の人体体温調節モデルとなっている。

4. 研究成果

① 恒温恒湿室内を対象とする被験者実験による日射強度と方向性が温熱生理と快適性に及ぼす影響の分析

本実験により、日射の方向性が温熱生理を代表する皮膚温度に及ぼす影響と同心理を代表する温冷感に及ぼす影響を比較すると、心理的な影響の強い結果となった。結果の一

例として、図 5 に日射強度の強い ($400[\text{W}/\text{m}^2]$) 条件下における照射方向の違いが部位別皮膚温、温冷感に及ぼす影響を示す。どちらの結果についても前方照射のケースが全般的に値が大きく生理的、心理的負担が大きい結果となるものの、他ケース (後方、右方) の結果との差に着目すると温冷感の値の増加の方が大きい。これは、前方からの場合はグレアに代表される視環境の悪化に伴う快適感の減少の影響も含むためと考えられ、熱的不快感とグレアの不快感を個別に評価する必要があると考えられる。

② 環境ストレス移動測定カートを用いた夏季歩行者の温熱環境計測

本実測は、温熱環境条件の変化が歩行者の温熱快適性に与える影響を調査するためと、数値解析において初期条件と境界条件に使われる気象データを収集するために行われた。福井大学文京キャンパス内の歩行空間を対象に、2007 年夏季 (8 月上旬から 9 月上旬までの雨天を除く 9 日間) に行われた。結果の一例として図 6 に晴天時の午後 (13:30~14:10 頃) における歩行空間の環境条件の推移と平均皮膚温度の推移を合わせて示す。晴天日であるため、歩行空間の日照部、建物や街路樹による日影部との移動に伴い大きな日射量の変化が生じる。また、平均皮膚温に着目すると、中間地点の休憩場所が緑陰の

場合と日向の場合で結果に大きな差が生じ、その後の結果にも影響が確認された。

③ 多分割体温調節モデルと連成した屋外温熱環境 CFD 解析手法

数値解析は②の実測を対象に行われた。解析結果の一例として、まず図 7 に対象日時(2007/09/04 14:00)における地表面温度分布の解析結果を示す。また、②の移動カートのパ測に対応する歩行環境の推移に関する数値解析結果として方向別日射量、平均皮膚温度、積算発汗量の推移を図 8~図 10 に示す。解析結果より、①歩行時の周辺環境の変化を定性的に再現する結果が得られていること、②歩行中の休憩場所の違いがその後の歩行中の皮膚温並びに発汗に影響すること、③発汗量の積算値を用いて休憩場所の差異が歩行中の熱的ストレスに与える影響を評価したところ、日向休憩の方が緑陰休憩の約 1.3 倍の負荷が生じていること、が明らかとなった。

— 前方日射・左半身 × 前方日射・右半身
 — 右方日射・左半身 △ 右方日射・右半身
 - - - 後方日射・左半身 ● 後方日射・右半身

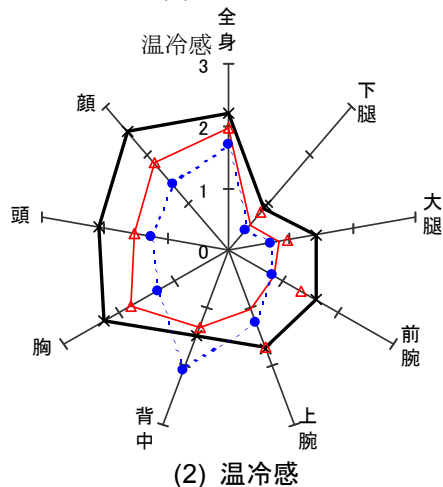
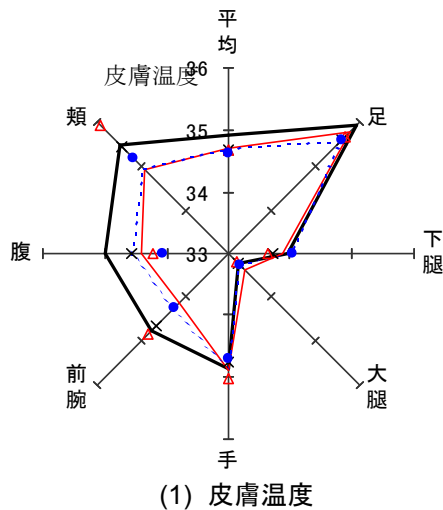


図 5 部位別皮膚温度と温冷感の関係 (被験者平均、強日射 300[W/m²]時)

④ 全体のまとめ

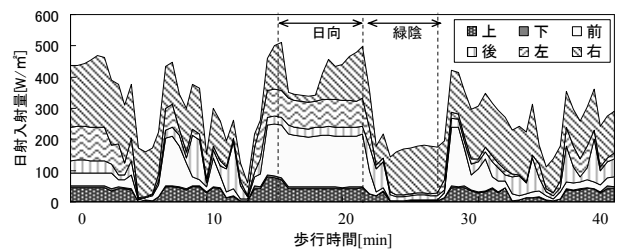
以上より、本研究では実験、実測、数値解析により屋外歩行者の移動を考慮した熱的快適性の評価方法について研究した。今後は、本研究で開発された温熱環境評価ツールの更なる改良を図ると共に、実際の歩行空間の環境設計への適用が期待される。

5. 主な発表論文等

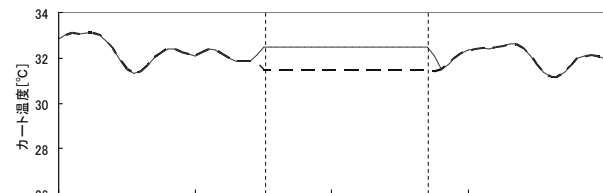
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

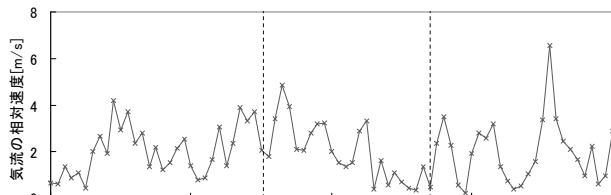
- [1] Shinji Yoshida, Evaluation on Unsteady and Inhomogeneous Outdoor Thermal Environment Using a Coupled Numerical Simulation Based on CFD Analysis, 18th International Congress of Biometeorology, 無, 2008, Urban Clim-S02(CDROM)
- [2] 吉田伸治, 多分割人体温熱生理モデルを用いた屋外温熱環境 CFD 解析 (その 3) 屋外温熱快適性評価への不均一な環境条件の組み込み方法の検討, 空気調和・衛生工学会学術



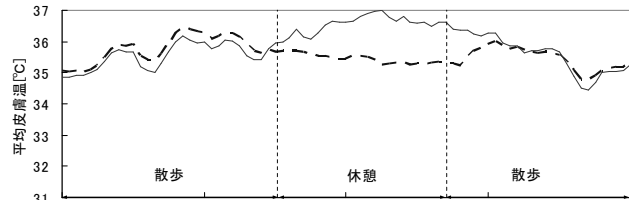
(1) 方向別日射入射量



(2) 気温



(3) 気流の相対速度



(4) 平均皮膚温度

図 6 夏季日中の歩行空間の温熱環境の推移 (2007 年 9 月 2 日 13:30~14:10)

講演会講演論文集，無，2008，1201-1204

- [3] 岸由紀子, 吉田伸治, 屋外での歩行による環境変化を考慮した温熱快適性評価に関する研究 その1 天候の差異が歩行空間の温熱環境に及ぼす影響の実測, 日本建築学会北陸支部研究報告集, 無, 50, 2008, 217-220
- [4] 吉田伸治, 実測・多分割人体温熱生理モデルによる非定常・不均一な屋外温熱環境の分析 その1 実測概要と気象条件, 日本建築学会北陸支部研究報告集, 無, 50, 2007, 245-248
- [5] 吉田伸治, 実測・多分割人体温熱生理モデルによる非定常・不均一な屋外温熱環境の分析 その2 多分割人体温熱生理モデルによる人体熱収支の分析, 日本建築学会北陸支部研究報告集, 無, 50, 2007, 249-252

[学会発表] (計3件)

- [1] Shinji Yoshida, Evaluation on Unsteady and Inhomogeneous Outdoor Thermal Environment Using a Coupled Numerical Simulation Based on CFD Analysis, 18th International Congress of Biometeorology, 2008, 日本, 東京都(船堀)
- [2] 吉田伸治, 多分割人体温熱生理モデルを用いた屋外温熱環境 CFD 解析 (その3) 屋外温熱快適性評価への不均一な環境条件の組み込み方法の検討, 空気調和・衛生工学会学術講演会, 2008, 日本, 草津(立命館大学)
- [3] 吉田伸治, 実測・多分割人体温熱生理モデルによる非定常・不均一な屋外温熱環境の分析 その1 実測概要と気象条件, 日本建築学会北陸支部大会, 2007, 日本, 長野(信州大学)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

特になし

6. 研究組織

(1)研究代表者

吉田 伸治 (福井大学・工学研究科・准教授・50343190)

(2)研究分担者 なし

(3)連携研究者 なし

(4)研究協力者

岸 由紀子 (研究当時・福井大学卒論生)

米田 真梨子 (研究当時・福井大学卒論生)

蘇 鐘玉 (研究当時・福井大学卒論生)

井上 理史 (研究当時・福井大学卒論生)

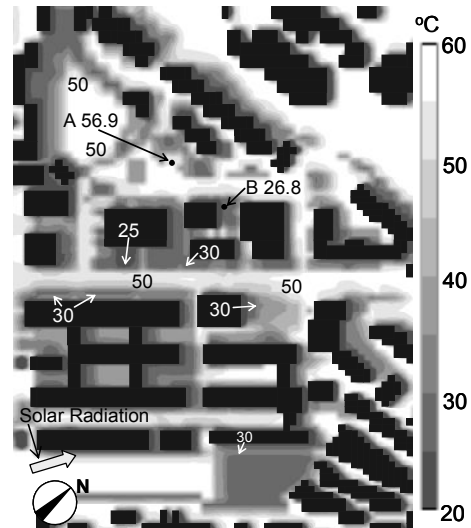
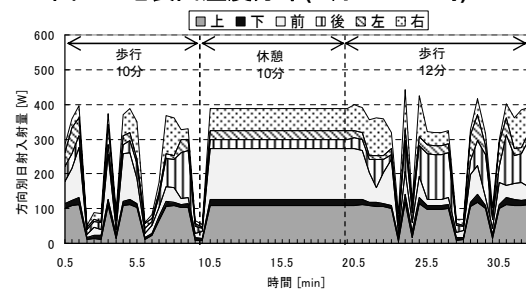
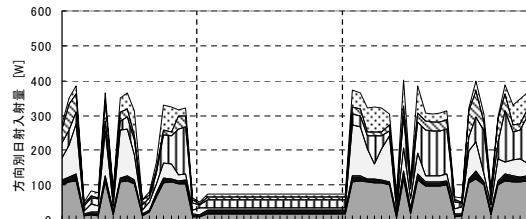


図7 地表面温度分布(9月4日14時)



(1) case1 : 日向休憩 (A地点)



(2) case2 : 緑陰休憩 (B地点)

図8 方向別日射入射量の推移

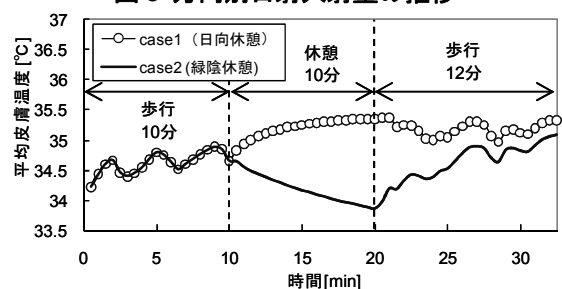


図9 平均皮膚温度の推移

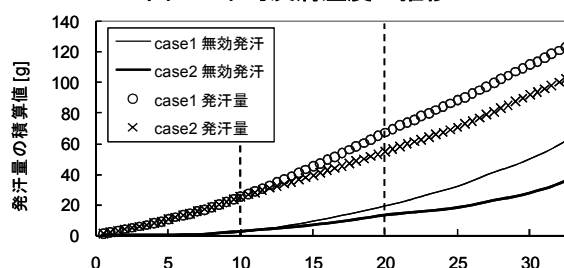


図10 発汗量積算値の推移