

実測・CFD 解析に基づく日傘の暑熱環境緩和効果の分析

Examinations of effects of utilizing a parasol for a pedestrian on thermal environment in outdoor space by using a field measurement and CFD analysis

奈良女子大学大学院生活環境科学系

Faculty of Human Life and Environment, Nara Women's University

吉田 伸治

Shinji Yoshida

キーワード：日傘 (Parasol)、暑熱環境 (Hot environment)、適応 (Adaptation)、
実測 (Field observation)、CFD 解析 (CFD analysis)

1. はじめに

ヒートアイランド現象に伴い劣悪となった街路内の夏季暑熱環境に対し、都市生活者個々が適応するための対策（適応策）の必要性が注目されている。日傘は、この適応策として最も実効的な手段の一つであり、女性を中心に活用されてきたが、近年は男性の利用も多くみられる。この日傘の使用がこれを使用する歩行者の周辺微気候に与える影響については多くの研究者が評価に取り組んでいるものの、詳細な分析は未だ行われていない^{文1)~3)}。本稿では、実測、並びに CFD 解析技術を用いて、日傘の暑熱環境緩和効果を分析する取り組みを紹介する。

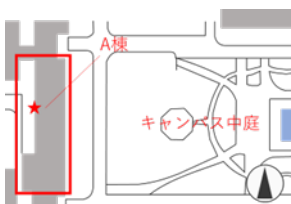
2. 実測による日傘の効果の分析

2.1 実測概要

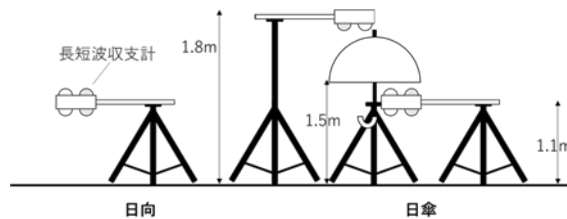
実測は奈良女子大学 A 棟（3 階建）屋上で行った。表 1 に計測項目を、また図 1 に実測位置、機器の配置のイメージ、実測風景写真を示す。日傘はこの屋上面から約 1.5m 高さで固定し、その内外の温熱環境、日射・長波長放射環境を実測した。日傘の種類は表 2 に示す 3 種類であり、その写真を図 2 に示す。Case1 は、材質が特殊三層ラミネート加工を施されたポリエステル生地であるサマーシールド (SS)^{文4)}、色は黒

表 1 計測項目

項目	内容
実測日	2022/08/04, 08, 09, 2022/09/26, 30
計測時間帯	10:55~13:55
日傘内の計測項目	全天日射量（日傘内↑↓、日傘上反射成分）、長波長放射量（日傘下、日傘上反射成分）、日傘表面温度（表・裏）、日傘面伝導熱量（表・裏）、気温、相対湿度、グローブ温度、風速、日影部地表面温度
日照部の計測項目	全天日射量（↑↓）、長波長放射（↑↓）、気温、相対湿度、地表面温度、グローブ温度、風速、風向
気象条件	全天日射量、水平面天空日射量、長波長放射量、風向・風速（超音波風向・風速計）、気温、相対湿度（百葉箱内）
その他	天空率（日傘下、日照部）



(1)実測対象



(2)主な計測機器の配置



(3)実測風景写真

図 1 実測対象



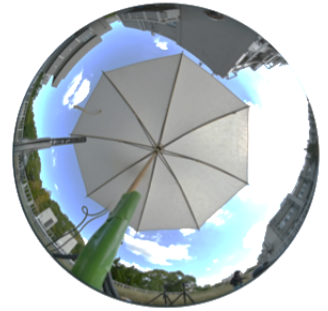
(1) Case1 (SS-黒)



(2) Case2 (布-黒)



(3) Case3 (SS-ベージュ)



(4) 天空率の計測

図2 日傘種類（検討ケース）と日傘下の天空率の計測風景

とした。これに対し、Case2 は、材質が綿 90% 麻 10% の黒色の布とした。最後に Case3 は材質がサマーシールド、色をベージュとした。したがって、Case1 と Case2 の比較より材質の違いの影響を、Case1 と Case3 の比較より色の差異の影響を評価することを試みた。

表2 実測ケース

Case	生地の種類	色
1	サマーシールド SS	黒
2	布	
3	サマーシールド SS	ベージュ

2.2 日傘の日射遮蔽効果の評価方法

この計測では、1回の計測機会に、日照部、日傘下の二つの環境下における熱環境の計測結果の比較を通じて日傘使用時の暑熱環境緩和効果の評価を試みた。特に日傘自体の性能をより正確に評価するため、日傘下の天空率の計測結果を用いた以下の評価手法も採用した。

2.2.1 一般的な日射透過率 τ の推定方法

一般的に日傘の様な日射遮蔽物の日射透過率 τ は次式の様推定される。

$$\tau = \text{ParaInSun} \downarrow / \text{SunnySun} \downarrow \quad (1)$$

ここで、 $\text{ParaInSun} \downarrow$ は日傘下での全天日射量（下向きに流入） $[\text{W}/\text{m}^2]$ 、 $\text{SunnySun} \downarrow$ は日照部での全天日射量 $[\text{W}/\text{m}^2]$ である。

2.2.2 一般的な計測方法の課題

前節 (1)式を用いて透過日射を推定する場合に課題となるのは、人体上方の日傘面の側方に広がる天空からの散乱日射の取り扱いである。図3に長短波収支計で計測される日傘下の日射の収支のイメージを示す。図3に従う場合、(1)式の $\text{ParaInSun} \downarrow$ は次式の様モデル化できる。

$$\text{ParaInSun} \downarrow = I'_* \cdot (1 - \varphi_{sky}) + I_{dH} \varphi_{sky} \quad (2)$$

ここで、 I'_* は日傘生地を透過した後に日傘下の日射計に入射する日射量 $[\text{W}/\text{m}^2]$ 、 I_{dH} は水平面天空日射量 $[\text{W}/\text{m}^2]$ 、 φ_{sky} は日傘下から上方を臨む場合の天空率[-]である。(2)式において、右辺第2項の成分は日傘生地を経由せず日傘下に直接入射する日射である。日傘を使用する歩行者の総合的な温熱快適性を分析する場合、この成分は人体の日射吸収量の増加に寄与するため、考慮することに意味はあるが、日傘自体の性能を評価する上ではこの影響を除去する必要があると考える。

2.2.3 修正された日傘の日射透過率の推定方法

前節の考えに基づき修正された日射透過量を $\text{ParaInSun} \downarrow^*$ とし、(3)式の様モデル化する。これは $\text{ParaInSun} \downarrow$ から日傘生地を経由せず日傘下に直接入射する成分を取り除いたものである。

$$\text{ParaInSun} \downarrow^* = \text{ParaInSun} \downarrow - I_{dH} \varphi_{sky} \quad (3)$$

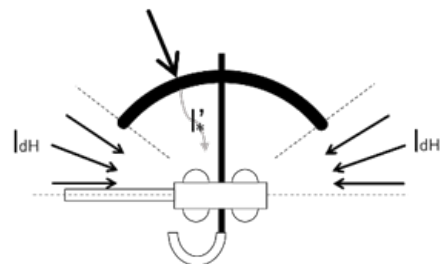


図3 日傘下日射量の分離

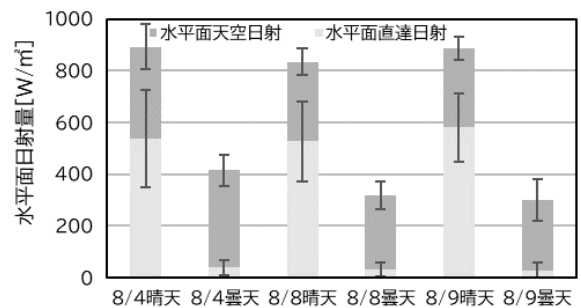


図4 計測時間帯における天候毎の全天日射量の平均値の比較

$ParaInSun \downarrow_*$ に基づく日射透過率を修正日射透過率 τ_* とすると、これは次式の様にモデル化される。

$$\tau_* = ParaInSun \downarrow_* / SunnySun \downarrow_* \quad (4)$$

$$SunnySun \downarrow_* = SunnySun \downarrow - I_{dH} \phi_{sky} \quad (5)$$

ここで、(5)式で定義される $SunnySun \downarrow_*$ は日傘に入射する成分のみを抽出したものである。(4)式により τ_* を推定する場合、気象条件となる全天日射量から水平面天空日射量 I_{dH} を計測する必要がある。本研究では奈良女子大学キャンパス内 E 棟 (5 階建) 屋上に全天日射計、並びに自動回転シャドウブレード CRP-PRB-100 を用いて直達日射を遮蔽することにより I_{dH} を計測した。また、 ϕ_{sky} についても魚眼レンズ付きカメラを用いて日傘下から上方を臨み撮影された天空画像から推定した。図 2(4)に Case3 において撮影された天空写真を示す。本計測では日傘下の透過日射量の計測のために長短波収支計を A 棟屋上面から約 1m 上方に設置しており、これは日傘の下端から約 0.3m 程度下方に位置する。図 2(4)から推定される天空率は約 37%に相当しており、この天空より入射する散乱日射成分は相応な割合を占めると推察される。そこで、本研究ではこの成分の取り扱いの差異が日傘の日射透過性能に与える影響の評価を試みた。

2.3 計測結果

2.3.1 気象条件

図 4 に実測対象時間帯における天候毎の全天日射量の平均値の比較を示す。実測期間中は台風等の影響により晴天と曇天を繰り返す不安定な天候となった。そこで、特に 2.2 節で説明した日傘の日射遮蔽性能の評価においては、結果を晴天時、曇天時に分けて評価した。この晴天 / 曇天の判別は E 棟屋上で計測される全天日射量を直散分離した後に行われる法線面直達日射量が 120 W/m^2 以上となる時間帯を晴天と判別した⁵⁾。計測日に依らず、晴天の時間帯においては、全天日射量が約 850 W/m^2 のうち約 6 割 (約 58%、 500 W/m^2) が直達成分、約 4 割 (約 42%、 350 W/m^2) が散乱 (天空日射) 成分となった。一方、曇天の時間帯においては計測された全天日射量の大半を散乱成分が占める結果となった。

2.3.2 天空率の考慮が日傘の日射透過率に与える影響

(1) 全天日射量と日傘内日射量の関係

図 5 に気象条件に相当する E 棟屋上の全天日射量と日傘内日射量の関係を示す。ここで、図中の灰色、白色のマークは、各々 $ParaInSun \downarrow$ 、 $ParaInSun \downarrow_*$ に相当する。日傘生地にはサマーシールドを採用した Case1、Case3 については、 $ParaInSun \downarrow$ は約 240 W/m^2 程度の値を示すのに対し、 $ParaInSun \downarrow_*$ では約 70 W/m^2 以下の僅かな値にまで減少する。これより、①サマーシールドを採用した日傘は、生地に入射する日射の大半を遮理、高い日射遮蔽性能を有すること、②日傘下の全天日射計で直接計測される $ParaInSun \downarrow$ の大半が日傘の遮蔽範囲外の天空から入射する散乱日射であること、がわかる。一方、黒の布地を採用した Case2 においては、晴天時の $ParaInSun \downarrow_*$ の値が 100 W/m^2 程度を示し、多くの日射が透過することが分かる。

(2) 全天日射量と日射透過率の関係

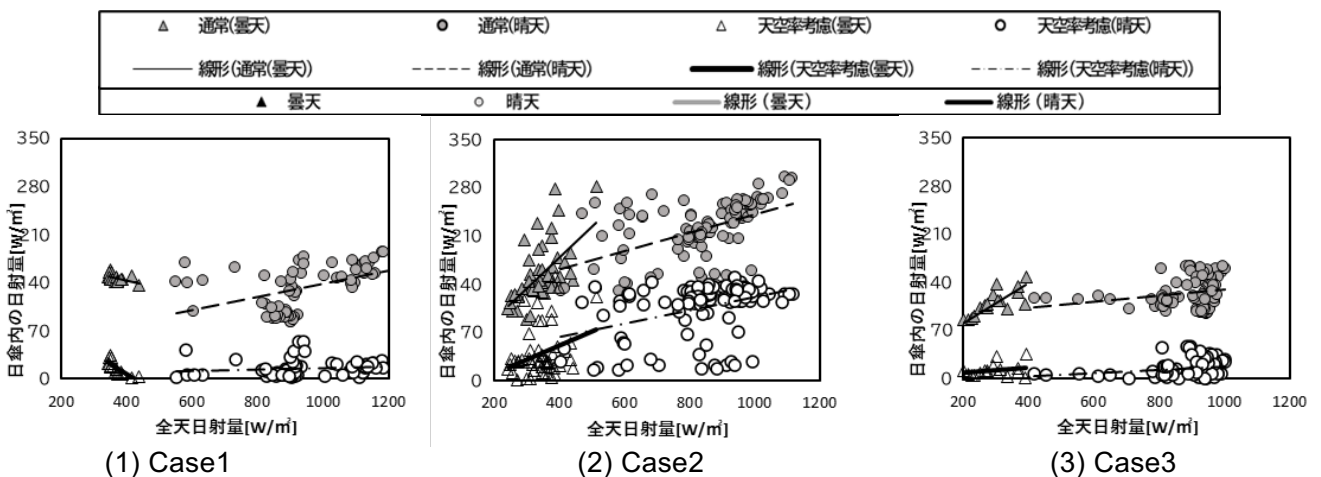


図 5 全天日射量と日傘内の日射量

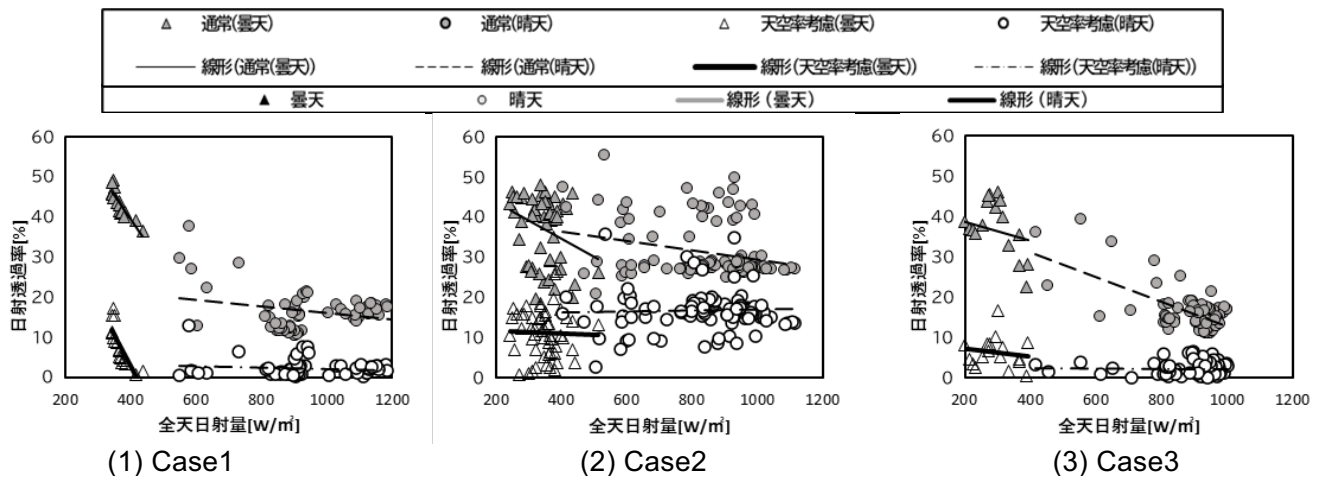


図6 全天日射量と日傘の日射透過率の関係

図6に全天日射量と日傘の日射透過率の関係を示す。日傘生地にサマーシールドを採用したCase1、Case3については、一般的な定義にあたる τ は約20%、修正された τ^* は晴天時においてはほぼ0に近い値となる。これよりサマーシールドの日傘は入射日射の大半を遮蔽することが可能であり、極めて高い日射遮蔽性能を有することがわかる。一方、生地に黒の布を採用したCase2においては、 τ は約30%、 τ^* は20%程度の値を示し、サマーシールドに比べ、明らかに多くの日射を透過し、人体への日射熱の流入を許すことが分かる。また、Case2の τ 、 τ^* の値のばらつきは、Case1、Case3のそれらと比べて大きな傾向が見られる。これは、布日傘生地のテキスタイルは精密ではない（ばらつきがある）こと、計測時間帯によって生地に対する日射入射角が異なること、の双方の影響によるものと推察される。

2.3.3 日傘毎の日射遮蔽性能が日傘の表面温度に与える影響

図7に実測期間中の日傘の外表面（環境側）、内表面（人体側）の表面温度の時間変化を示す。また、図9は各計測日の昼下がり（13:30頃）に赤外線放射温度計により撮影された熱画像の比較を示す。天候の変動に伴うばらつきの大きな結果ではあるが、①日射を直接受ける外表面側の温度が内表面側のそれに比べて高温となること、②サマーシールド(SS)を採用するCase1、Case3の外表面温度の値が布地を採用するCase2よりも高温となること、が分かる。これは、サマーシールドは日射の大半を遮蔽するため、その吸収熱も大きいためである。すなわち、サマーシールドは遮蔽した日射熱の多くを周囲空気に放射、並びに対流熱伝達により放熱することが分かる。したがって、この温度上昇を抑えるための効率的な方策の検討が課題と考えられる。一方、一般的な布地は表面温度の上昇が緩和されるため、周囲空気への放熱は少ないと推察される。しかし、その一方で、前述の透過日射により、人体の熱吸収の増大を招いている点には疑いない。以上の様に、日傘およびその周辺との熱交換機構は極めて複雑である

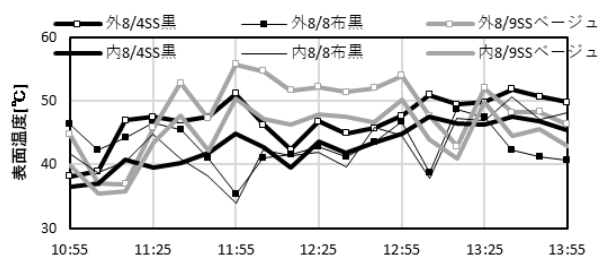


図7 日傘表面温度の時間変化

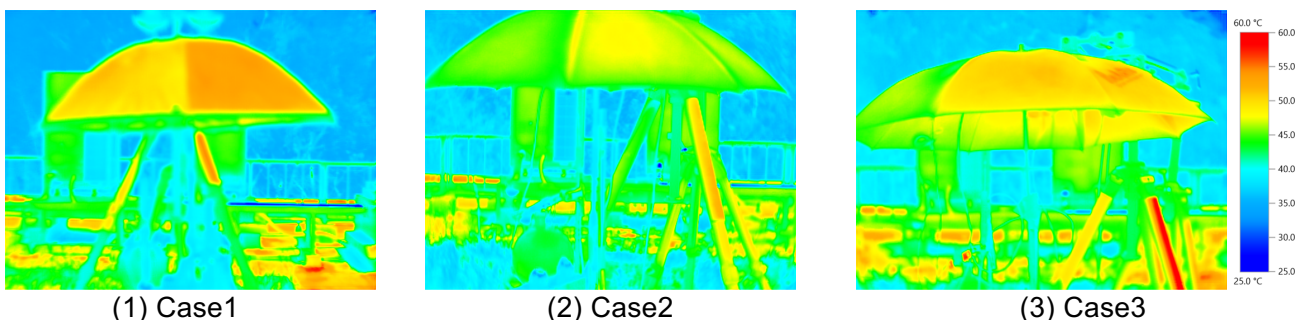


図8 日傘表面温度の熱画像（各計測日の13:30頃撮影）

ことが分かる。従って、日傘を利用する歩行者周辺の微気候を詳しく分析するためには、実験、実測に加えて数値流体力学 CFD 解析に基づく詳細な熱環境分析に大きな期待が掛かることが分かる。

3. CFD 解析による日傘使用時の歩行者の対流熱伝達率分布の評価

3.1 はじめに

2 章の実測に見られた様に、日傘内外の熱環境は極めて複雑である。CFD 解析技術は、空間を詳細に分割し、流れ場、温度場の形成機構を詳しく分析する際に有用な技術である。本研究では、これを積極的に活用し、この形成機構の詳しい分析に取り組んでみる。本章では、その第一段階として、日傘を持つ人体の対流熱伝達率分布の評価に取り組む。人体の対流熱伝達率分布の評価については多くの研究例^{文6)~7)}があるが、屋外歩行者を対象とする事例は少ないこと、日傘の様なアイテムを持つ人体に対する評価は殆どないため、多様な視点から有効な知見が得られると期待される。

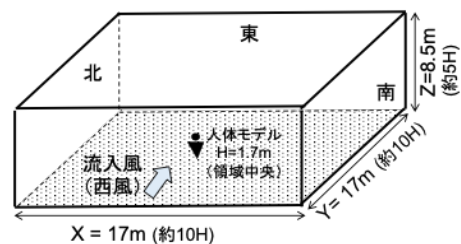
3.2 解析概要

図 9 に解析対象、解析条件をまとめる。また、図 10 に解析で使用する人体モデルのグリッドデザインを示す。本解析対象は、周囲に障害物等の無い空間

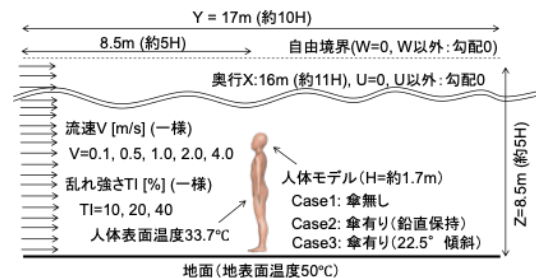
中央に一体の人体モデルが主流に対向して配置される場合を想定する。本解析では Y 軸-側境界より気流が流入する。流入風は風速を 0.1、0.5、1.0、2.0、4.0m/s の 5 条件、乱れ強さを 10、20、40% の 3 条件を独立変数とする計 15 条件の解析をケース毎に行い、対流熱伝達率分布を評価する。解析ケースは 3 ケース設けた。Case1 は日傘を持たない立位歩行者が滞在する場合を、Case2 は日傘を鉛直に保持する場合を想定する。一方、Case3 は西日等を遮蔽する際を意図し、日傘を前方 22.5° 傾けた場合を想定する。地表面温度、日傘温度については 2 章の実測結果を参考に 50°C に、また人体表面温度は文献 6 を基に 33.7°C に設定した。なお、解析には Cradle 社の scFLOW (Ver. 2023) を用い、乱流モデルには MP-AKN モデルを用いた。メッシュ分割については粘性底層までの解像を意図し、人体、日傘表面に接するセルの厚さを 0.5mm とする境界層セルを 10 層設けた。

3.3 解析ツールの精度検証

使用するツールの精度を検証するため、小野ら^{文6)}が行った風洞実験と同じ条件を課した解析を



(1) 領域全体の鳥瞰図



(2) YZ 鉛直断面図と解析条件、解析ケース
図 9 解析対象・解析条件・解析ケース

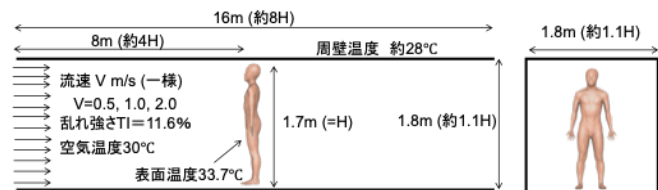


図 11 精度検証のための解析対象

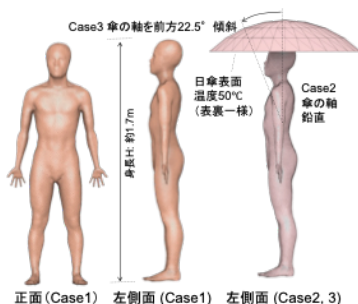


図 10 数値人体モデルのグリッドデザイン

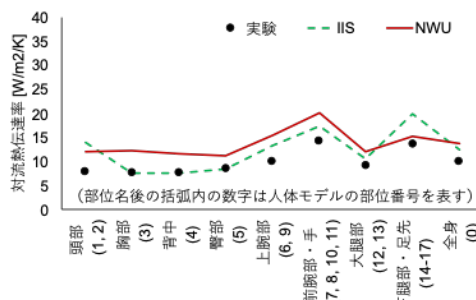


図 12 部位毎の対流熱伝達率分布 (風速 1.0m/s, 乱れ強さ TI=11.6%)

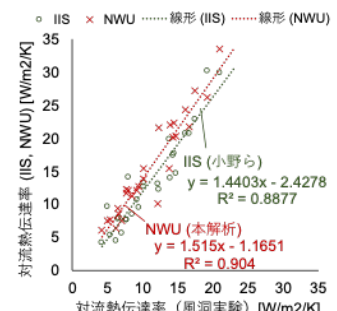


図 13 風洞実験と数値解析の比較 (全身、部位毎の対流熱伝達率)

行った。図 11 に解析対象領域を示す。結果の一例として、図 12 に流入風 1.0m/s における風洞実験と数値解析で得られた部位毎の対流熱伝達率分布の比較を示す。また横軸に風洞実験値を縦軸に数値解析値を配置し、両者の関係を纏めたものを図 13 に示す。本解析 (NWU) の値は、小野ら (IIS) に比べ若干値が大きいものの風洞実験、小野らの解析と概ね対応する結果が得られたことが分かる。

3.4 解析結果

(1) 流れ場の傾向

流れ場の傾向の結果の一例として図 14 に Case1 (日傘無し)、Case3 (傾斜日傘) の風速ベクトル、スカラー風速の鉛直断面内の分布を示す。両ケース共に図左から流入する気流が人体風下に回り込み複雑な循環流を形成することが分かる。特に日傘を保持する Case3 では日傘上方に沿う流れと日傘下方で剥離する

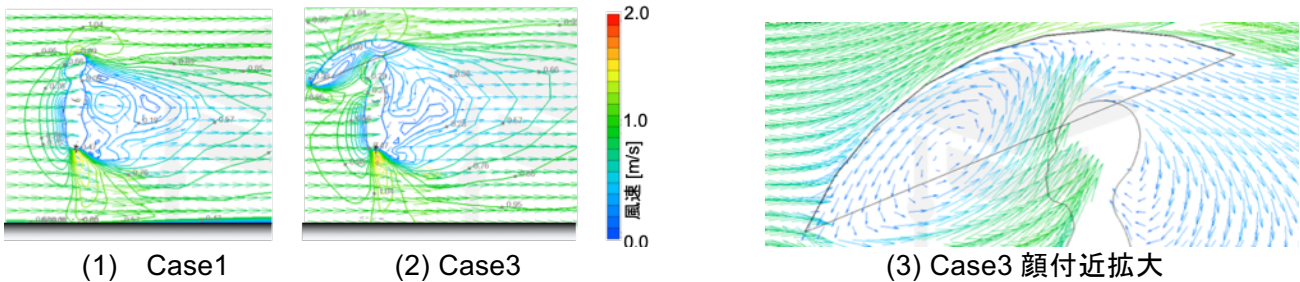
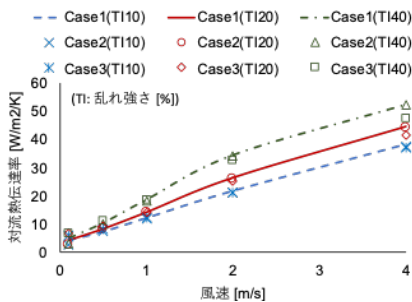


図 14 風速ベクトル、スカラー風速の鉛直断面内の分布 (流入風 1.0m/s, 乱れ強さ 20%の場合)

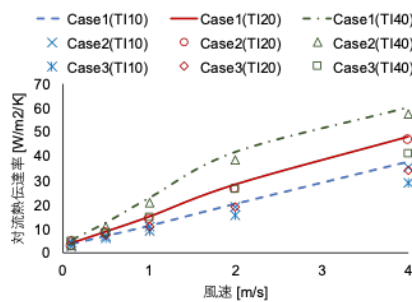
流れが形成され顔付近で反時計回りの循環流が形成される (図 14(3))。従って、日傘を保持する人体頭部付近の流れ場が特に複雑となる。

(2) 日傘の有無が対流熱伝達率分布に与える影響

図 15 に解析全ケースの流入風、乱れ強さの差異が対流熱伝達率に与える影響の関係を纏めて示す。ここでは、結果を代表して、全身、頭部の結果を示す。風速増加、乱れ強さ増加に伴い対流熱伝達率が増加する傾向が見られ、これは小野ら^{文6)}と同様の結果である。日傘の有無の影響に着目すると、全身の平均対流熱伝達率については、日傘を持たない Case1 に対する日傘を持つ Case2、Case3 の差は小さい。一方、頭部については、Case3 の値は Case1、Case2 により明らかに値の小さな結果となった。これを定量的に分析す



(1) 全身



(2) 頭部

図 15 流入風速、乱れ強さと対流熱伝達率の関係 (TI: 乱れ強さ)

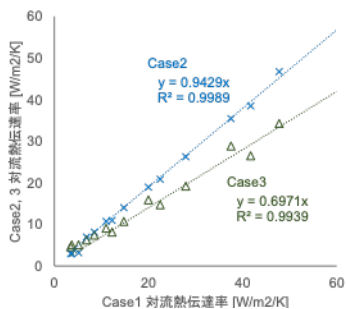


図 16 日傘の有無が頭部の対流熱伝達率に与える影響

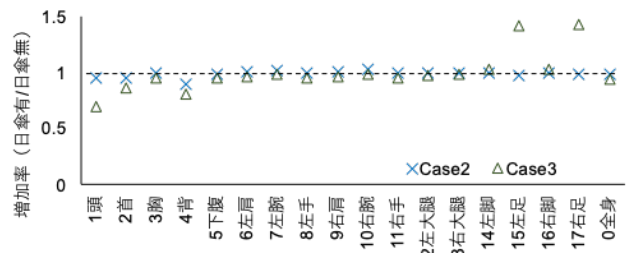


図 17 日傘保持による部位毎の対流熱伝達率増加率の分布

るため、横軸に Case1 の対流熱伝達率を縦軸に Case2, 3 のそれを配置して関係を纏めたものを図 16 に示す。日傘を傾けて保持した Case3 は Case1 の約 7 割程度まで値が減少することが分かる。日傘保持時の対流熱伝達率を日傘なしの値で割ることにより比を取ったものを増加率と定義し、すべての部位でこれをまとめたものを図 17 に示す。鉛直に保持した Case2 についてはほぼ増加率 1 と差異の小さな結果となったのに対し、日傘をやや傾けた Case3 は頭部、背面で約 7、8 割まで値が減少する一方、脚、足では増加が見られ、特に足は顕著な増加を示した。これは日傘保持時の人体後方に生じる鉛直方向の循環流の変化に依るものと推察されるが、今後更に詳しい分析が必要と考えられる。

4. CFD 解析による日傘使用時の歩行者周辺微気候の分析

4.1 はじめに

4 章では、3 章の分析を踏まえて、CFD 解析により、日傘使用時の歩行者周辺の微気候の詳しい分析に取り組んでいる。まだ検討不十分ではあるが、こちらについても結果の一例を紹介したい。

4.2 解析概要

解析対象は 3 章と同じく周囲に障害物等の無い空間中央に一体の人体モデルが主流に対向して配置される場合（図 9(1)）を想定する。3 章の解析とは異なり、この解析では気象条件として酷暑の温熱環境条件下の評価を行うため、2010 年 7 月 23 日 15 時の気象条件（風速 1.8m/s（乱れ強さ 20%）、気温 35.4°C、相対湿度 50%）を課した。夏季 15 時頃の大阪は西日が射し込み、西からの海風の卓越する時間であると想定し、歩行者はこの海風と日射に正面から曝露される場合を想定した。解析ケースは 3 章の Case1（日傘なし）、Case2（日傘を鉛直に保持）の 2 ケースとした。また、この解析では日射熱、気流影響に伴う人体側の温熱生理反応を考慮するため、多分割体温調節モデル JOS2[※]を実装した。着衣については本解析では、部位に依らず 0.5clo、日射吸収率を 0.5 で一様とした。本来は、当然ながら、部位毎に着衣の色、断熱性は異なるが、これらを考慮すると、解析結果にもこれらの影響が強く表れ、日傘有無の影響の評価を複雑にすることが懸念される。本解析は日傘使用の影響を明瞭に分析するため、敢えてこれらの条件を簡略化した評価とした。日傘に関しては、本解析では日射透過はないものと仮定した。また、外表面の日射反射率を 0.5、内表面のそれを 0.1 と設定した。従って、2 章に示した実測の Case3 の日傘（サマーシールド、ベージュ）に近い条件を想定している。日傘生地の日射透過係数については、2 章の実測における日傘内外表面温度差並びに、内外に貼り付けた熱流計で計測される伝導熱流の推定値 50W/m²K を与えた。

4.3 解析結果

(1) 人体、日傘表面の日射照射熱量の分布

図 18 に日傘表面の日射照射熱量（入射量）の分布を示す。日傘を持たない Case1 では、頭部から肩、胸にかけて約 700W/m² 以上の日射が入射する。これに対して、日傘を鉛直に保持する Case2 では、日傘前方で多くの日射熱を受熱し、その下方に日影を形成しており、Case1 で強い日差しを受ける頭部、肩、胸の日

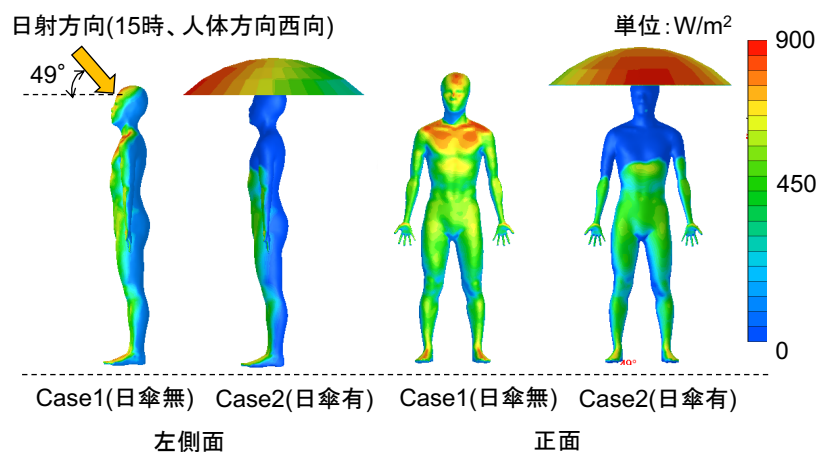
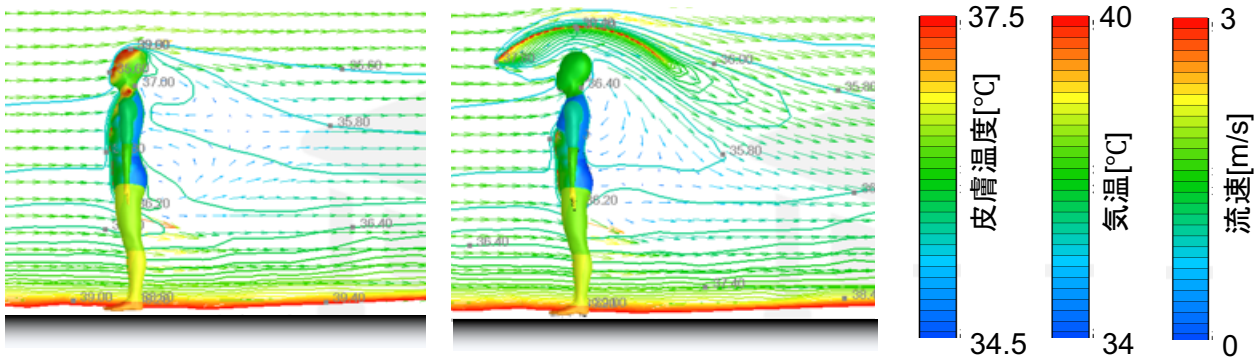


図 18 人体、日傘表面の日射受熱量の分布（2010/07/23 15 時 大阪）



(1) Case1 (2) Case2

図 19 人体周りの気温、風速ベクトル、人体表面温度の鉛直分布の比較 (2010/07/23 15時 大阪)

射入射を大幅に削減することが分かる。その一方、日傘の形成する影から外れる前腕、手、腹部、下腿、脚、足部については Case1 と大差のない日射量の受熱が見られる。

(2) 流れ場・温度場の傾向

結果の一例として、図 19 に人体周りの風速ベクトル、並びに気温の主流に直交する断面（東西断面）における分布を示す。なお、人体表面上に皮膚温度の分布も併せて示す。図中左側が海風の流入する西側である。日傘を持たない Case1 では、図 14(1)と同様に流入した気流が人体風下に回り込み複雑な循環流を形成する。日傘を保持する Case2 では図 14(2)の Case3 に示す結果と同様に日傘上方に沿う流れと日傘下方で剥離する流れが形成される。また、日傘と人体頭部の間に着目すると、図 14(2)と同様に日傘下方の剥離流に伴う循環流の形成により、熱溜まりが生じる傾向が見られる。

(3) 人体生理反応の分布

図 20 に人体皮膚表面温度、並びに発汗率の分布を示す。日傘を持たない Case1 では頭部から肩、胸にかけて約 38°C 程度の温度の高い領域が見られるが、Case2 では日傘による日影形成により 34°C 程度の熱的中立時に近い値にまで低下する。発汗率については、Case1 においては、胸、腹部において 50%以上の高い発汗率を示す。これに対して、日傘を利用する Case2 ではこれらの部位の発汗率が約 10%程度減少する傾向が見られ、歩行者の暑熱環境ストレスの緩和に大きく貢献することがわかる。なお、特に発汗率については、図 18 の日射受熱の結果ほど日射照射の分布の差異が反映されない結果となるが、これは、皮膚温度、発汗率は人体内部の体温調節メカニズムに基づき決定されるためである。例えば、発汗について着目すると、これは人体各部位が受ける熱流入の結果を統合した上で、生理メカニズムが発令される結果が発汗の分泌につながる。発汗の分泌は汗腺の分布に基づくため、汗腺の分布の多い胴体において多量の汗を掻く

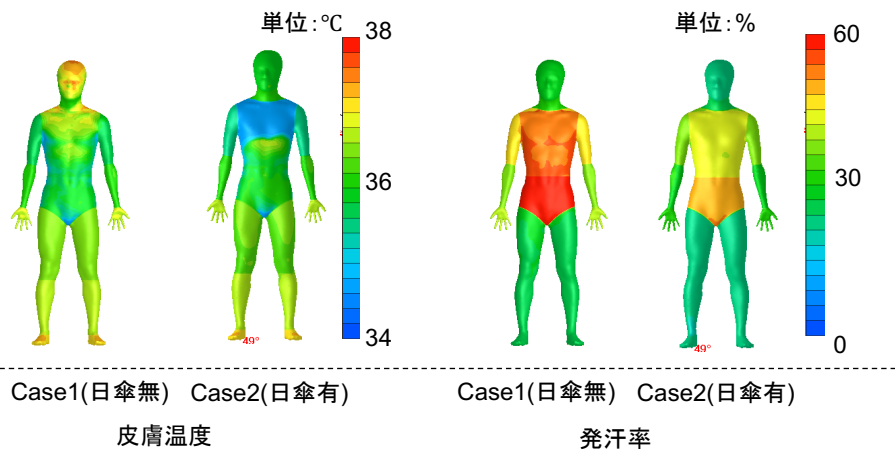


図 20 人体皮膚表面温度、発汗率の分布 (2010/07/23 15時 大阪)

為、これらの部位の値が大きくなると考えられる。以上の様に、人体形状を詳細にモデル化した CFD 解析を行うことにより、日傘使用時の人体周辺微気候、並びに生理反応の傾向を評価・分析することが可能であることが分かる。今後はこの技術を環境条件、日傘の種類、の多様な影響を課した解析を行い、歩行者にやさしい暑熱適応策のあり方を考えたい。

4. まとめ

- 1) 実測、CFD 解析による日傘の暑熱環境緩和効果の分析に関する研究例を紹介した。
- 2) 実測では、日傘の日射遮蔽性能を評価する際における日傘下から上方を臨む際の天空率の取り扱いを検討する必要性を説明した。日傘自体の性能を評価する場合、天空率を考慮することにより、日傘周囲の天空から入射する天空（散乱）日射の影響を取り除き、日傘自身の純粋な遮蔽性能を評価することができる。その一方、この散乱日射は、歩行者自身が受熱する日射量の総量には含まれるため、歩行者の温熱快適性を評価する上では考慮する意味がある。従って、分析の目的に従って、この考慮の有無を適切に判別する必要があると考える。
- 3) CFD 解析では、①日傘使用時が人体表面の対流熱伝達率分布に与える影響、②人体周辺微気候の形成に与える影響、の分析例を紹介した。双方ともに検討不十分な点があり、これらを活用した研究の推進が期待されることが明らかとなった。

謝辞 本研究は 2020 年度科学研究費補助金 基盤研究(C)（課題番号 20K04808, 代表：吉田伸治）の一環として実施したものである。また研究の遂行に際しては、高田恵里氏（大成建設、研究当時 奈良女子大学卒論生）の助力を得た。ここに記して謝意を表す。

[参考文献]

- [1] 渡邊慎一, 石井仁, 長野和雄, 富田明美, 堀越哲美 (2014): 日傘による直達日射の人体投射面積遮蔽率, 人間と生活環境, 21 巻, 2 号, p. 93-98.
- [2] 渡邊慎一, 石井仁 (2020): 日傘による暑熱環境緩和効果の実証的研究, 日生氣誌, 56 巻, 4 号, p. 133-144.
- [3] 吉田篤正, 木下進一 (2022): 日傘が人体の生理応答に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D, 2149-2150.
- [4] サマーシールド®, 東レ株式会社ホームページ, URL: <https://www.toray.co.jp/products/textiles/textiles010.html>
- [5] 天気予報等で用いる用語、気象庁ホームページ URL: https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/kori.ht
- [6] 小野剛司, 村上周三, 大岡龍三, 高橋岳生, 大森俊明, 早乙女強: 屋外空間における人体表面の平均対流熱伝達率の予測式の開発 風洞実験と CFD 解析による人体表面の平均対流熱伝達率の予測式の提案, 日本建築学会環境系論文集, 601, 9-14, 2006.
- [7] Li, C., and Ito, K., “Numerical and experimental estimation of convective heat transfer coefficient of human body under strong forced convective flow”, Journal of Wind Engineering Industrial Aerodynamics, 126, 107-117, (2014)
- [8] Kobayashi, M., and Tanabe, S., 2013. Development of JOS-2 human thermoregulation model with detailed vascular system. Building and Environment, 66, pp 1-10.