

3DCGを用いた公園の暑さ指数の可視化

尾崎 平¹・黒田 章子²・安部 寛喜³・檀 寛成⁵・安室 喜弘⁶

¹正会員 関西大学准教授 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)
E-mail: ozaki_t@kansai-u.ac.jp

²非会員 株式会社 極東技工コンサルタント (元関西大学)

³非会員 大和リース 株式会社 (元関西大学)

⁴正会員 関西大学准教授 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)
E-mail: dan@kansai-u.ac.jp

⁴正会員 関西大学教授 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)
E-mail: yasumuro@kansai-u.ac.jp

本論文では、3DCGを用いた暑熱環境可視化システムの構築を行い、健康増進の場として活用される公園の暑さ指数の可視化を試みた。また、併せて、公園の利用実態を調査し、公園利用者の行動と暑熱環境の関係性を把握した。その結果、公園全体のWBGT (Wet Bulb Globe Temperature) を可視化し、緑陰や人工庇陰によるWBGTの軽減効果も可視化できるツールを構築した。また、実態調査の結果、早朝であっても夏季はWBGTが28℃を上回っており、WBGTとMET (Metabolic Equivalent) ・hr (運動強度と時間の積) の関係から、調査期間内の公園利用者のうち3割程度の方は熱中症を発症する恐れのある中で運動を行っていることを確認した。

Key Words : wet bulb globe temperature, global illumination, computer graphics, heatstroke

1. はじめに

地球温暖化に伴う気候変動の影響が世界的に生じている。それに対してわが国では2018年2月に気候変動適応法が閣議決定された¹⁾。気候変動の影響の範囲は多岐にわたるが、本研究で着眼する暑熱環境について2018年は5～9月の熱中症救急搬送者数が95,137名と前年に比べ2倍と非常に厳しい状態であった²⁾。一方で、社会的には、わが国において、高齢化が進展しており、持続可能な社会の形成の観点からも健康寿命の延伸、医療費の抑制は大きな課題となっている。

2015年9月に国連でSDGs (Sustainable Development Goals) が設定され、わが国では、SDGs実施指針として、8つの優先課題と具体的施策が示され、その中に「健康・長寿の達成」「気候変動対策」が明記されている³⁾。また、2018年4月に閣議決定された第5次環境基本計画では、分野横断的な6つの重点戦略が設定され、その中で「健康で心豊かな暮らしの実現」「国土のストックとしての価値の向上 (気候変動への適応も含めた強靱な社会

づくり)」が掲げられている⁴⁾。このように世界的な潮流として、人間開発、持続可能性、公平性、健康増進などを適切に達成するために、すべての部門が人々の健康と幸福 (Well-being) への影響を考慮した政策とその実現に向けたアクションへと動き出している。

そのような状況の中、現在、健康維持、増進のために運動が推奨されており、厚生労働省⁵⁾では、健康日本21において運動習慣者の増加などの数値目標を掲げている。そのため、今後、社会的変化としての高齢化による健康に配慮すべき人の増加や、地球的变化としての気候変動による暑熱環境の悪化の中で、多くの人々が、安全にかつ、より積極的に都市空間に外出しうる機会や場所の創成、提供が求められる。筆者らはこれまで機会の創出として健康行動の支援^{6,7)}やウォーキングコースの環境面、健康面からの評価⁸⁾に関する研究を行ってきた。

以上の背景のもと、健康長寿の未来社会を目指し、本研究では、『人の健やかさ』と『まちの健やかさ』を実現するために、特に都市の公園、緑道やみち空間の暑熱環境にフォーカスを当て、歩けるまち・歩いて楽しいま

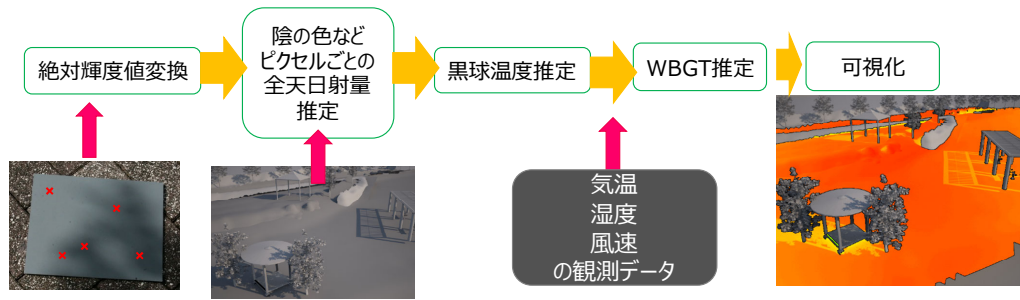


図-1 暑熱環境の可視化手法の概要

ちを支援するシステム、サービスを提案を行う。特に、本論文では、3DCGを用いた暑熱環境可視化システムの構築を行い、健康増進の場として活用される公園の暑さ指数の可視化を試みた。また、併せて、公園の利用実態を調査し、公園利用者の行動と暑熱環境の関係性を把握することを目的とする。

2. 方法

(1) 公園の暑熱環境の可視化システムの構築

本論文では、3DCGの描画にグローバルイルミネーション（以下GI; global illumination）を利用した光学的計算により、緑陰環境下でのWBGT（Wet Bulb Globe Temperature）を推定する手法を提案する。システムの詳細は、既報⁹⁾に示す通りである。

本システムの可視化手法の構成を図-1に示す。GIは、光エネルギーの大域的な輸送を光学的・物理学的に扱うためのCGの描画技法である。光源から直接物体表面に当たる光（直接光）だけでなく、面から他の面へ、多重に照り返す光（間接光）や透過光などの挙動もモデル化しており、物体表面の反射特性が互いの外観に影響を与え、写実性の高いCG表現を可能とする。

本研究では、GIが可視光によるエネルギーの授受を空間的に計算することから、熱環境との相関が高いことに着目する。GIで描画されたCGの物体表面において画素単位で絶対輝度を求めることにより、物理的なエネルギーの指標とする。一方で、反射率が既知の拡散板上で緑陰を写した写真における絶対輝度と日射量との関係を予め求めておく。これにより、同じ反射率を設定した3次元空間で再現した緑陰シーンのCG画像から、対象表面での日射量に換算し、WBGTを推定する。さらに、3DCGの中の対象領域について、ヒートマップで暑さ指数を示すことで、緑陰による暑熱対策の効果を視覚化できる。既報⁹⁾との差違として、本論文では、特に、絶対輝度と日射量との関係のための追加実験を実施し、精度の向上を図った。

表-1 調査概要

調査日 (調査時間 朝:6-8時, 夕:17-19時)	平日(2018年) 朝:7/25,26,11/3 夕:7/27,8/22,11/10	土曜(2018年) 朝:7/21,8/11,11/10 夕:7/21,8/11,10/27
属性調査内容 (いずれも目視による判断)	性 男女 別: 世 高齢者, 大人, 中高生, 小学生, 小代: 学生未満	
行動調査内容	健康遊具利用, 体操, ウォーキング, ランニング又はジョギング, 健康遊具とウォーキング等の複合利用, 散歩(子どもと散歩, 犬の散歩), 球技・その他, 休憩, 通り抜け	
動線調査	利用者の公園内での動線(利用出入口ならびに入退園時間(滞在時間)の確認, ウォーキングルート, 健康遊具の利用順序, などを記録)	

(2) 公園利用者の暑熱環境下での活動内容の把握

調査対象公園は、吹田市と摂津市の両市にまたがる北大阪健康医療都市（愛称：健都）^{10,11)}の開発エリアに築園された健都レールサイド公園（面積：約2.6ha, 2018年3月開園）（ここでは同公園内のうち健康遊具やウォーキングコースが整備されている健康増進広場（面積：約1.1ha）に着目）とする。健康増進広場には、運動負荷の大小異なる4つのウォーキングコースとストレッチや筋力向上に効果のある健康遊具を合計27基も配置されている。従来の子どもの遊び場とは異なる健康増進を目的とした公園整備がなされている。また、この27基の健康遊具にはナンバリングがなされており、数字の小さいものから大きいものに行くほど負荷が高くなるように配置されている（公園の監修をした国立循環器病研究センターへのヒアリングの結果）。

調査は、2018年7～11月の平日と土曜日の早朝（6～8時）ならびに夕方（17～19時）に、来園者の属性、行動内容を調査員が観察し、記録する観察調査方式で行った（表-1）。調査は、平日、土曜とも3回ずつ実施した。調査内容は、属性、公園内での行動およびその動線である。利用者属性を把握するために、性別ならびに世代を目視により判定した。また、同伴者の有無も記録した。公園利用者の行動内容を把握するために、表-1に示す行

動項目を記録した。また、利用者の滞在時間ならびにウォーキングコースや健康遊具の利用順序などを把握するために、公園内での動き（動線）を記録した。暑熱環境については、暑さ指数のひとつであるWBGTを簡易計測器（ケストレル製、4600pro Heat Stress Tracker）を用いて、調査期間中30分毎に計測・記録した。

3. 結果および考察

(1) 公園の暑熱環境の可視化システムの適用

提案システムを健康・医療まちづくりの拠点として整備している大阪府吹田市・摂津市にまたがる健都エリアの公園に適用した。公園全体のWBGTを可視化し、緑陰や人工庇陰によるWBGTの軽減効果も可視化できた。2018年7月24日の10時台、12時台のWBGTの実測値と推定値の比較結果を図-2に示す。比較の結果、推定値が実測値よりも1℃前後、高め（安全側）に推計されているものの、概ね良好にWBGTが推定できることを確認した。本システムを用いることで緑陰や人工庇陰による暑熱対策効果を容易に把握することが可能となった。

次に、本可視化システムを用いて、時間帯別のWBGTを推定した（図-3）。シミュレーションでは、公開されている過去の気温等のデータを使用し、日時によって暑さ指数の違いが確認できた。同様に気象予測のような既存の枠組みとの組合せで同手法が利用できる可能性が考えられる。公園内の植栽や東屋、他の人工庇陰の計画を進める際、季節や時間帯に応じた日陰空間の形成、配置を提案することも可能になる。

(2) 公園利用者の暑熱環境下での活動内容の調査結果

調査期間中に利用時間が記録できた263名(利用開始時間、終了時間が分かるもの)のデータを用いてWBGTと滞在人数の関係性を考察する。

WBGTと利用状況の関係から嚴重警戒とされている28℃以上の場合でも公園の利用者はみられ(図-4)、滞在時間が15分の運動行為をしている者が13名おり、WBGTが上昇するにつれて滞在人数が減少する傾向は見られるものの、15分以上の運動行為者が一定数いることが確認できた(図-5)。

健康増進広場の高齢者と大人の運動行為者を対象に、身体活動量（エクササイズ[MET・hr]）を算定し、寄本の研究¹²⁾をもとにWBGTと身体活動量の関係から得られる運動行為者の熱中症リスクについて考察する。結果を図-6に示す。

調査期間中に得られた143名中、約4割(58名)の人が熱中症の危険区域に属していた。高齢者であっても危険領域で運動を行っている人が確認できた。夏期の早朝、夕

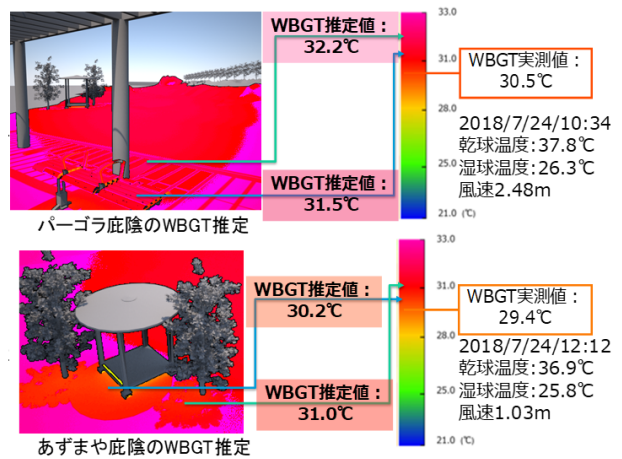


図-2 WBGTの可視化結果と実測値との比較

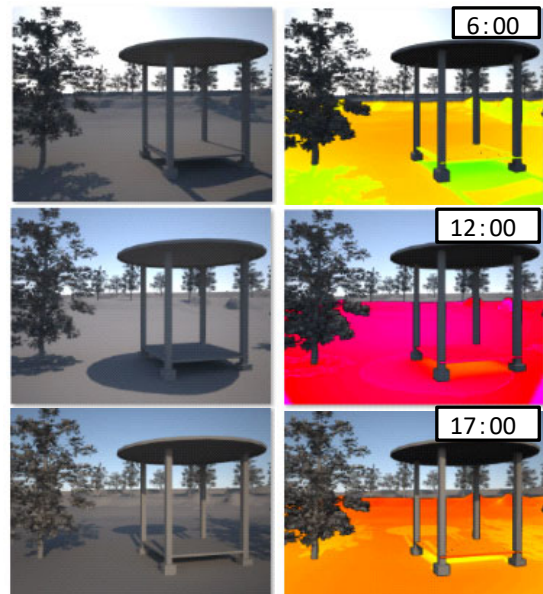


図-3 時間別の公園内のWBGT推定結果の例

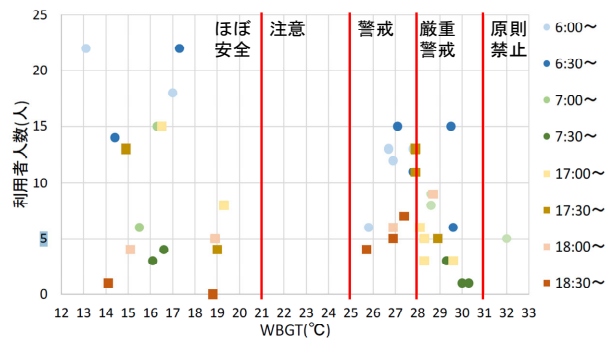


図-4 WBGTと運動行為者の滞在人数の関係

方であっても、WBGTは警戒レベルを超えており、身体活動量によっては、熱中症のリスクが高い状態で運動がなされている。健康のためにという思いで運動している人が、逆に暑熱環境との関係で、熱中症を発症する恐れがあることが示唆された。現在、公園内にはWBGTの明示や、身体活動と暑熱環境の関係などの注意喚起はなされておらず、公園の活用方法と併せて、熱中症のリスクに関する情報なども併せて行う必要がある。

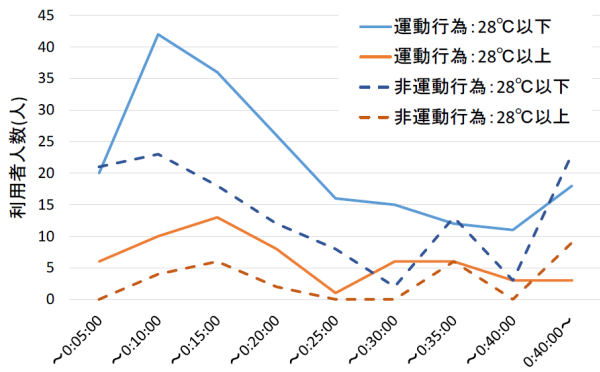


図-5 各条件における滞在時間別利用者数

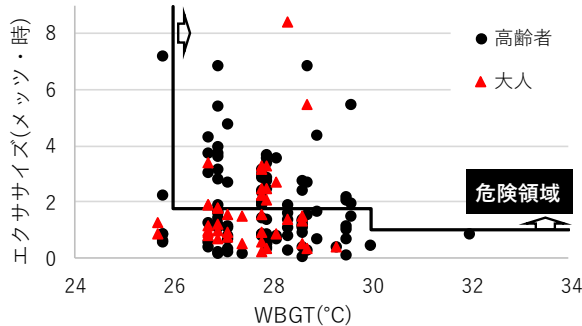


図-6 健康増進広場における運動行為者の熱中症リスク

4. おわりに

本研究では暑熱環境の可視化システムを構築し、実公園を対象に適用した。また、これまでの公園とは異なり、健康増進を強く意識した公園において、その利用実態と暑熱環境の関係性を分析した。得られた主な知見を以下に示す。

- 1) 公園の暑熱環境の可視化システムの構築に関して、公園全体のWBGTを可視化し、緑陰や人工庇陰によるWBGTの軽減効果も可視化できるツールを開発した。本システムはWBGTの実測値と推定値の比較の結果、推定値が1°C前後、高め(安全側)であるが、概ね良好な精度で推定できることを確認した。
- 2) 公園の利用実態と暑熱環境の関係性分析に関して、健康増進を目的とした公園は、これまでの子どもが遊ぶ空間としての公園とは異なり、高齢者、大人の方を中心とした運動(健康遊具、ウォーキング)を目的とした利用者が非常に多い。その利用者行動について、WBGTとエクササイズ(運動強度(MET: Metabolic Equivalent)と時間(hr)の積)の関係性を分析した結果、約3~4割の人が熱中症を発症する恐れのある危険領域で運動を行っている

ことが確認できた。

本研究により、暑熱環境が厳しい中で、運動を実践する方がいることから、本研究で開発した暑さ指数の可視化ツールを用いて、適切にアラートを発信し、熱中症に対する予防を啓発していきたい。

謝辞: 本研究は、中部大学問題複合体を対象とするデジタルアース共同利用・共同研究(IDEAS201915, 研究代表者: 尾崎平)ならびに環境研究総合推進費(1-1905, 研究代表者: 北詰恵一)の助成を得て行った。

参考文献

- 1) 環境省: 気候変動適応法案の閣議決定について, <https://www.env.go.jp/press/105165.html>, 更新日 2018.2.20, 閲覧日 2019.1
- 2) 総務省消防庁(2018): 平成30年(5月から9月)の熱中症による救急搬送状況, http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/houdou/h30/10/301025_houdou_3.pdf, 更新日 2018.10.25, 閲覧日 2019.1
- 3) 内閣府: 持続可能な開発目標(SDGs)実施指針, <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/sdgs/dai2/siryou1.pdf>, 更新日 2016.12.22, 閲覧日 2019.1
- 4) 環境省: 第五次環境基本計画の閣議決定について, <https://www.env.go.jp/press/105414.html>, 更新日 2018.4.17, 閲覧日 2019.1
- 5) 厚生労働省: 健康日本21(身体活動・運動) http://www1.mhlw.go.jp/topics/kenko21_11/b2.html, 閲覧日 2019.1
- 6) 尾崎平, 木下朋大, 盛岡通: 活動量の計測とICT支援に基づく事業所従業員の身体運動への行動変容, 土木学会論文集G(環境), Vol. 73, pp.II_139- II_146, 2017.
- 7) 木下朋大, 尾崎平, 盛岡通: 健康ウォーク継続のための支援システムに関する検討, 環境情報科学論文集, Vol.30, pp.61-66, 2016.12
- 8) 木下朋大, 盛岡通, 尾崎平: ウォーキングトレイルの環境及び健康面からの評価, 環境共生, 27, pp33-42, 2015.
- 9) 安室喜弘, 市原和幸, 西浦佑紀, 池川大哉, 林倫子, 尾崎平: 3DCGを用いた暑熱環境の推定とその適用, 土木学会論文集G(環境), Vol.73, No.2, pp.II_1-II_8, 2018.
- 10) 盛岡通: 持続可能な健康まちづくりのためのフューチャデザイン拠点の構想と役割, 第53回土木計画学研究発表会講演集, CD-ROM(7頁), 2016.
- 11) 盛岡通: 健康医療のまちづくりの構想実現に向けた関係者の協働の進め方, 第51回土木計画学研究発表会講演集, (CD-ROM, 7頁), 2015.6.
- 12) 寄本明: WBGTを指標とした暑熱下運動時の生体応答と熱ストレスの評価, 体力科学, 41巻4号, pp 477-484, 1992

(2019.10.4 受付)

VISUALIZATION OF WBGT VALUES IN PARK USING 3D CG-BASED ESTIMATION METHOD

Taira OZAKI, Shoko KURODA, Hiroki ABE, Hirhoshige DAN and Yoshihiro
YASUMURO