

## リアルタイム GI による暑さ指数分布の可視化

角田 直嵩 尾崎 平 安室 喜弘

関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科

## 1 はじめに

近年、地球温暖化やヒートアイランド現象などの影響により、熱中症患者数並びに死亡者数が増加している[1]. 輻射や湿度をもとに人体と外気との熱収支を考慮した指標である暑さ指数として用いられる WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) は、市民への熱中症リスクの意識付けに有効である. このような指標は都市域単位で公開され、市民への注意喚起に用いられているが、街区や公園等の身の回りの屋外の生活圏での具体的なリスクを知る機会が無い. 本研究では、グローバルイルミネーション (global illumination 以下 GI) によるコンピュータグラフィックス (3DCG) を活用した地表の日射量推定により、時々刻々と変化する日照環境での暑さ指数分布を可視化し、配信する方法を提案する. ゲームエンジンを用いた実装により、庇陰や木陰などによる暑熱の軽減効果をリアルタイムでヒートマップ化でき、任意の時刻・場所の暑さ指数分布を Web で公開できる枠組みを実現する.

## 2 既往研究

WBGT は気温、湿度、輻射熱の関係から算出されるが、輻射熱の測定に黒球温度計を必要とする. 岡田らは、全天日射量、風速、乾球温度を説明変数として黒球温度を推定した[2]. 安室らは、標準反射板上で陰影を撮影した写真の画素値と全天日射量との相関を求め、地表の陰影の CG から全天日射量を求め、岡田らの方法で WBGT を推定した[3]. 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 CG の技法で、直接光だけでなく、間接光の効果も扱うため、植栽や建造物などの地物を考慮した日射状況のシミュレーションとして利用できる. 一方で、GI はあらゆる経路の光を計算するため、膨大な計算

が必要であり、視点や時間帯を変えてレンダリングするたびに処理時間がかかり、一般ユーザーへのサービスのシステム化には課題がある.

## 3 提案手法

本研究では、上記の課題を解決すべくリアルタイム GI を用いたシステム化を提案する. リアルタイム GI では、ライトプローブと呼ばれるライトマップを対象空間に多数配置し、建物などの静的物体による相互反射などの多数の光線経路のノード情報を、テクスチャとして事前計算しておく. ライトプローブの情報を辿ることでレンダリング時の計算コストを大幅に減少させつつ、間接光などの効果を含んだ質の高い CG をリアルタイムに描画する[4, 5]. 本研究の対象シーンには、樹木等の複雑な形状を含むものの、動的な物体は必要ないため、リアルタイム GI の導入に適している. WBGT の推定と可視化は、安室らの手法に基づいて行うものとする.

本研で提案するシステムの処理を図2に示す. リアルタイム GI には、日時と緯度経度から対象場所の日照条件を設定できるゲームエンジンを用いる. ユーザーが暑熱リスクを知りたい場所と時間についてアプリ内でCGを生成し、Webサーバを介して、基本的な気象情報を取得したうえで、WBGT のヒートマップを生成して表示する. まず、ユーザーが場所と日時、見たい場所を指定する. システムでは、指定された設定にて日陰分布の

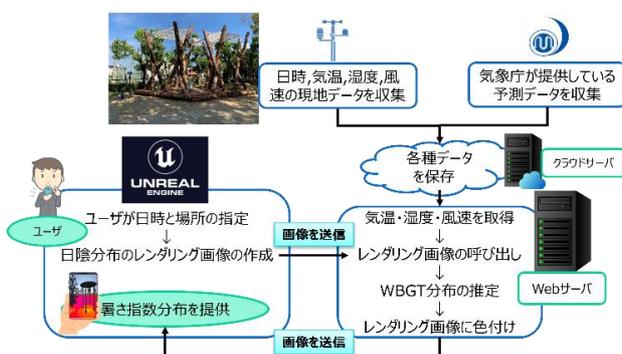


図2 提案システムのフローチャート

Visualization of Heat Index Distribution based on Real-Time Global Illumination

†Naotaka Sumida, Taira Ozaki, Yoshihiro Yasumuro  
Faculty of Environmental and Engineering, Kansai University  
3-3-35 Yamate, Suita, OSAKA, 564-8680, JAPAN



図3 標準反射板(左)と実測した地表日陰の例(右)

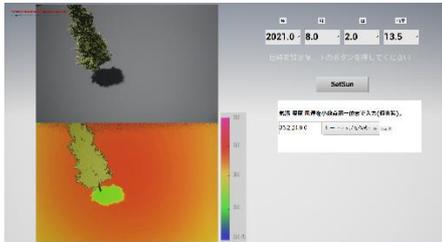


図4 システムのユーザインタフェース

CG をレンダリングし、Web サーバに送信する。次に、Web サーバでは、レンダリング画像とクラウドサーバから取得した気温・湿度・風速を使用し、CG の画素毎に WBGT を推定し、ヒートマップとして画像化する。クラウドサーバには気象庁が提供している予測データと、現地に設置している機材が取得した現地データが保存されている。最後に、作成したヒートマップ画像をアプリに送信し、暑さ指数分布をユーザに提供する。

#### 4 実装と検証

本研究では、一眼レフカメラと同等の露出設定で、リアルタイム GI によるレンダリングが可能なゲームエンジンとして Unreal Engine4 (以下 UE) を用いた。実環境に即した GI レンダリングのために、標準反射板の実写撮影データを収集し(図 3)、画素値を基に、樹木・建造物におけるソフトシャドウ、3DCG 空間内における直達日射(Lux)のパラメータについて設定を行った。UE 内で天空の照明環境を設定するモジュールにおいて、ユーザが日時を指定できるユーザインタフェースを作成した(図 4)。ユーザがボタンを押すと、標準拡散面を設定した地表に陰影を描いた CG 画像(図 5(左))と地表部分をマスクした画像を生成し、Web サーバに送信する。このマスク部分を WBGT のヒートマップに置き換える処理を。サーバ内の C++ によるネイティブプログラムで実行し、ヒートマップ画像(図 5(右))をユーザアプリに送信する。ユーザアプリでは、指定した URL のウェブページをゲームのプレイ画面内に表示する UE の機能により、アプリ上に表示させる。尚、サーバにて気温・湿度・風速情報を収集するクラウドシステムが開発途上のため、現状は手動で入力している。尚、アプリで結果が表示

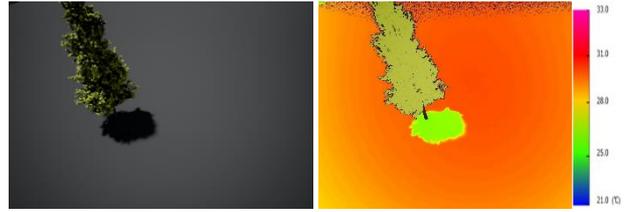


図5 地表の陰影 CG(左)と WBGT ヒートマップ(右)



図6 実際の公園での適用例

されるまでの時間は約 2.4 秒であり、そのうち CG 生成は 0.02 秒(50fps)であった。

摂津市平和公園にて、庇蔭設備(竹中工務店より提供)に対してレーザスキャナで 3 次元形状計測を行ってモデル化し、本手法を適用した(図 6)。図 6(左)の写真と同じ日時の当該地点の緯度経度を指定することで日陰分布を再現し、暑熱状況を任意視点で分かり易く可視化できることが分かる。これにより、公園等のユーザの身近な場所での WBGT をリアルタイムに調べることが可能となった。

#### 5 おわりに

本研究では WBGT 推定におけるリアルタイム GI の有用性を示し、公園などの身近な場所のヒートマップをリアルタイムで作成してユーザに提供するシステムを開発した。今後は、WBGT 推定に必要な基本パラメータ(気温・湿度・風速)情報の集約の自動化を検討している。また、地物の 3 次元モデルの特性について、例えば、木の葉の透過率は考慮していないため、実計測によるパラメータ化についても検討する予定である。

謝辞 本研究の一部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 IDEAS2021I5 の助成による。

#### 参考文献

- [1] 環境省, 熱中症予サイト: <https://www.wbgt.env.go.jp/>
- [2] 岡田他, 岡田・日下の黒球温度推定式の広域適用とパラメータ調整, ヒートアイランド論, Vol. 8, p. 13-21, 2013.
- [3] 安室他, 3DCG を用いた WBGT の推定とその適用, 土木学会誌 G, Vol. 74, No. 6, pp. II-1-III-8, 2018.
- [4] 宮崎大輔, 床井浩平, 結城 修, 吉田典正, コンピュータグラフィックスの基礎, オーム社, 2020.
- [5] 倉地紀子, CG Magic: レンダリング, オーム社, 2007.