4ZC-07

局所環境での人工庇蔭および自然庇蔭における暑さ指数分布推定と検証

黒田 章子　檀 寛成　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，地球温暖化や都市部のヒートアイランド現象などの影響により，各地で熱中症発症数が増加している[1]．熱中症のリスクの指標となるWBGT(Wet Bulb Globe Temperature)は，気象庁より都市ごとに公開されているものの，市民の身近な生活環境の粒度での情報は得られない．本研究では，3 次元 CG を使った WBGT 推定法に基づき，緑陰や構造物による様々な庇蔭の効果を検証し，局所での暑熱環境を可視化することを目的とする．本稿では，北大阪健康医療都市として整備されている摂津市の明和池公園において，3 次元計測と CG 化による WBGT の推定と実測を実施し，得られた WBGT 推定の精度について報告する．

2　研究目的

本研究では緑陰効果に着目し，3 次元モデルに基づいたコンピュータグラフィクス(3DCG) 上で植栽のシミュレートを行い，地面に投影された影の色情報を用いて暑さ指数を推定する手法を提案する．さらに，結果を 3DCG を用いて可視化することにより計画段階で緑陰効果を分かり易く表示することを目的とする．可視化する対象は局所環境とし，実在空間の 3D モデルと樹木の 3DCG モデルを合成し，仮想空間で再現する．これにより，樹種や日時の変化，樹木の生長による効果の比較や，空間的な暑熱対策効果を直感的に把握できることが期待できる．

3　提案手法

安室らでは，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，庇蔭下での WBGT を推定する手法を提案している[2]．GI は，光エネルギの大域的な輸送を光学的・物理学的に扱った CG の描画技法で，光源からの直接光だけでなく，間接光の効果もモデル化し，写実性の高い CG 表現を可能とする．GI が可視光によるエネルギの授受を計算することを利用し， CG の画素単位で絶対輝度を求めることにより，エネルギの指標とする．一方で，庇蔭の実写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とにより，3 次元モデルで再現した庇蔭の CG から暑さ指数を推定できる．本研究では，安室らの手法に基づいて，屋外の緑陰や庇蔭について実測を行い， 公園など市民の利用頻度の高い公共スペースでの暑さ指数の推定を実施する．

処理構成を図 1 に示す．まず，庇蔭内で標準反射板を一眼レフカメラで撮影し，写真で記録される庇蔭部の画素値と日射量との相関を求める．画素値と EXIF 情報を用いて絶対輝度値への変換を行う．輝度値をパラメータとし，あらかじめ日射量と絶対輝度値を相関付けた線形式から全天日射量を推定する．黒球温度は，全天日射量，風速，乾球温度を用いて推定し[3]，黒球温度，湿球温度，乾球温度を与えることにより WBGT を推定できる．運用時は，3DCG で現地の日照状況を描画し，床面を標準反射板と同じ反射特性としてレンダリングする．レンダリングされた CG 画像は実世界で撮影された画像(写真) と同様にピクセル値，EXIF 情報を持っているため，上記と同じ手順を踏襲することで，絶対輝度値変換を行うことが可能であり，地面上の画素単位で WBGT が推定できる．

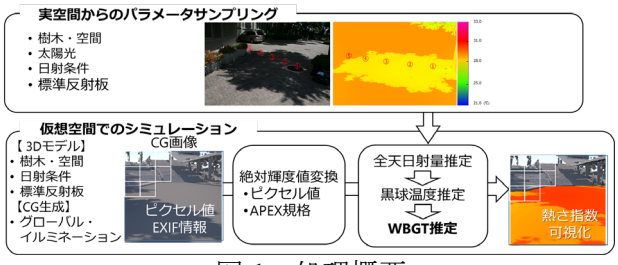

図 1　処理概要

4　WBGT 推定

4．1　絶対輝度値

暑さ指数（WBGT; Wet Bulb Globe

Estimation and Verification of Heat Index Distribution in Local Environment with Artificial and Natural Shades

Shoko Kuroda, Hiroshige Dan, Taira Ozaki, Yoshihiro Yasumuro
Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai University
3-3-35 Yamate, Suita, OSAKA, 564-8680, JAPAN

Copyright ©2019 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

Temperature）は，熱中症を予防することを目的として 1954 年にアメリカで提案された指標である．人体と外気との熱収支に着目した指標で，湿度，日射・輻射など周辺の熱環境，気温を採り入れ，(1)，(2)式で算出される．また，この指標は ISO7243 や JIS Z 8504 等で規格化され，労働環境や運動環境，日常生活における指針として認められており，WBGT が 28 ℃を超える生活環境では熱中症が発生する恐れがあるとされる．

屋外：
WBGT = 0.7×湿球温度+0.2×黒球温度+0.1×乾球温度　(1)
屋内：
WBGT = 0.7×湿球温度+0.3×黒球温度　(2)

4．2　絶対輝度値

はじめに，日本工業規格のデジタルカメラ用画像フォーマット規格として用いられている APEX 規格に基づいた計算方法で絶対輝度値 B を(3)式で算出する．次に，求めた絶対輝度値 B を用いて(4) 式より 1 画素あたりの絶対輝度([cd/m2]) を算出する．

$$\log_2 \frac{B}{3.42} = 2\log_2 F - \log_2 T - \log_2 \frac{S}{3.125} \qquad (3)$$

B：絶対輝度 [cd/m²]
F：絞り値（F 値）
T：シャッタースピード [sec]
S：ISO 感度

$$L(x,y,t) = \frac{100\,B(t)Y(x,y,t)}{18Y_{MAX}(t)} \qquad (4)$$

$L(x, y, t)$：絶対輝度 [cd/m²]
$B(t)$：画像 t 内で算出した絶対輝度 [cd/m²]
$Y(x, y, t)$：CIEXYZ 表色系での Y 値
$Y_{MAX}(t)$：CIEXYZ 表色系での最大 Y 値

4．3　黒球推定

黒球温度は，直達日射，散乱日射，大気からの赤外放射，地表面からの赤外放射，反射日射等の要素からなる．黒球温度の推定には，次の(5)式を使用する．

$$Tg = \frac{S - 38.5}{0.0217S + 4.35U + 23.5} + T \qquad (5)$$

5　実測

本研究では、複数の庇蔭で実測と推定実験を行った（図 2）．吹田市と摂津市が国立循環器病研究センターを中心に「健康・医療のまちづくり」を進めている地域の公園を対象とした．実測データを基に，庇蔭の輝度値から日射量を推定，(5)式を用いて黒球温度を推定した．これらを用いて WBGT 推定を行った結果，誤差は表-2 のようになった．

図 2　計測の様子

表-1　WBGT 計測結果

実測日時		実測箇所	日射量 [W/m²]	Tn [℃]	Tg [℃]	T [℃]	WBGT_out [℃]	風速 [m/s]
2018.07.24	9:34	広場屋根下_陰	125	25.7	37.1	35.3	29.0	0.61
	9:45	緑陰内	253	26.7	39.4	37.3	30.3	0.15
	9:52	緑陰外	965	26.1	42.6	39.2	30.7	0.20
	10:24	まだら屋根_陰	253	26.2	40.0	37.7	30.1	0.25
	10:51	まだら屋根_陽	1180	28.1	49.5	42.6	33.8	1.56
	11:45	遊具上	1185	27.7	51.3	43.6	34	2.46
	11:56	遊具屋根横緑陰_陰	170	26.8	40.7	38.6	30.8	0.19
	11:58	遊具屋根横緑陰_陽	349	26.6	45.5	39.6	31.7	1.20
	12:10	遊具前屋根下	79	25.7	38.5	37.2	29.4	3.15

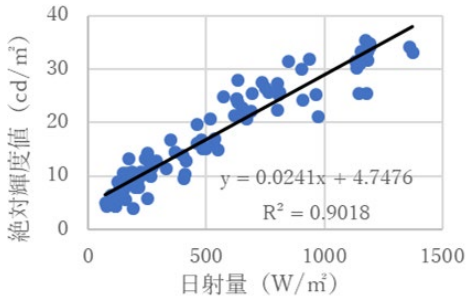

図 3　絶対輝度値と日射量の相関

表-2　WBGT 推定結果

実測箇所	絶対輝度値 [cd/m²]	日射量(推定) [W/m²]	黒球温度(推定) [℃]	WBGT(out) [℃]	推定WBGT(out) [℃]	誤差 [℃]
広場屋根下_陰	8.896992157	373.917399	43.89827631	29.0	28.94	0.0599999999999987
緑陰内	5.032392157	213.5605526	42.467878	30.3	30.3	0.0000000000000000
緑陰外	21.59737451	900.9042187	57.69548176	30.7	30.71	−0.0100000000000016
まだら屋根_陰	13.19080588	552.0839437	50.20198961	30.1	30.11	−0.0099999999999980
まだら屋根_陽	23.4882098	979.3621147	60.58404761	33.8	33.83	−0.0300000000000011
遊具上	33.34611765	1388.403934	65.4799997	34	34.01	−0.0099999999999980
遊具屋根横緑陰_陰	13.26445882	555.1400823	51.21978812	30.8	30.76	0.0400000000000027
遊具屋根横緑陰_陽	16.83761373	703.4037712	53.8408401	31.7	31.68	0.0199999999999996
遊具前屋根下	4.298731373	183.1181964	40.6499166	29.4	29.41	−0.0099999999999980

6　おわりに

本研究では，画像における絶対輝度値と日射量を相関付けた日射量推定式による WBGT 推定を実地に適用することを試みた．今後は携帯端末で現地の暑さ環境が閲覧できるようなアプリによるサービスを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 IDEAS201715 の助成による．

参考文献
[1] 環境省，熱中症予サイト
[2] 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-IIII-8, 2018.
[3] 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，日本ヒートアイランド学会論文集 Vol.8, p.13-21, 2013.

Copyright ©2019 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.