

歩行者・空間滞在者の暑熱環境評価指標

空間評価WG 吉田 伸治 (奈良女子大学)



大阪HITEC20220428

0. 本日の説明内容

- 1. 空間評価WGの紹介
- 2. 昨年度の活動内容の報告
- 3. 今後の課題(今年度の目標)
- 4. まとめ



大阪HITEC20220428

1. 空間評価WGの紹介

WGの注目点

- 1) 暑熱適応策評価のための多様な評価指標の関係整理
 - 多様な暑熱適応策の提案
 - ➡ 適応策のメニューに比例して評価指標も多数利用



評価指標毎の感度、相関などの確認が必要では?

2) 評価ニーズに応じた新たな視点の温熱環境評価の考え方の提案 空間滞在者自身の熱的影響の考慮の必要性への対応



大阪HITEC20220428

0

0. 本日の説明内容

- 1. 空間評価WGの紹介
- 2. 昨年度の活動内容の報告
- 3. 今後の課題(今年度の目標)
- 4. まとめ



大阪HITEC20220428

2. 昨年度の活動報告

(暑熱適応策評価のための多様な評価指標の関係整理)

- 2-1 比較した評価指標
 - SET*
 - UTCI
 - 可能曝露時間に基づく評価
 - 人体熱収支に基づく快適性評価
 - WBGT
 - WBGT_n (修正版)



大阪HITEC20220428

_

評価指標の関係性(WG開始当初)

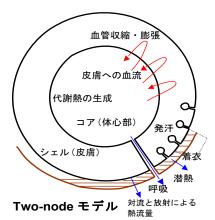
指標	入力環境条 件	算出難易 度	温熱快適 性評価	熱中症危 険度評価	備考·留意点	
SET*	温熱6条件	В	?	?	・現在、国内で最も汎用に使用	
UTCI		A	?	?	・欧州中心に活用例が多い。 ・多項式が煩雑 ・人体熱収支メカニズムとの関連を構造的に分析することは困難	
暑熱可能曝 露時間		С	?	?	 ・Two-nodeモデルを使えば評価可能。 ・心部体温38℃ or 発汗量が体重の3%を超過で限界 	
人体熱収支 法		В	?	?	・温冷感、快適感の評価のための環境曝露時間に課題あり	
WBGTo		Α	?	?	・WBGTnよりやや低めの評価?	
WBGTn	グローブ温度、 湿球温度	С	?	?	・本来の定義に基づく。グローブ球、湿球の熱 収支を解くためのデータが別途必要。	



大阪HITEC20220428

2-2 評価指標の簡単な紹介①

- 1) 新標準有効温度SET*
 - ・人体を体心部、皮膚の2層分割した円筒形モデルである Two-node モデル使用



a)周辺環境との熱収支に基づき

平均皮膚温度 濡れ面積率 皮膚表面からの全熱放散量 を算出

・上記を固定の条件下で 相対湿度50%, 静穏気流場, 標準的着衣条件

に変更した中でa)と等価な熱的生理 状態を得られる作用温度 = SET*



大阪HITEC20220428

7

2-2 評価指標の簡単な紹介②

- 2) UTCI (Universal Thermal Comfort Index)
 - ・欧州を中心に使用例の多い温熱快適性の評価指標
 - 国内では渡邊先生(大同大)が代表か?
 - ・多分割体温調節モデルFialaを使って得られた多数の条件下の生理的状態の結果を複雑な多項式近似により算出
 - ・SET*などとフィッティングも高いが、熱収支的観点から結果を構造的に 見ることはほぼ不可能
 - ・近似式の適用範囲外になると極端に変な値が生じる



大阪HITEC20220428

2-2 評価指標の簡単な紹介③

3) 暑熱環境暴露時間

熱中症危険性評価のための<u>可能曝露時間</u>に到達する閾値を設定



心部体温が38degCを超過 or 累積分泌発汗量が体重の3%を超過

熱中症リスク到達

熱的生理状態はTwo-nodeモデルを用いて評価

<可能曝露時間の使用例>

- [1] Shinji Yoshida, Akashi Mochida (2018). Evaluation of effects of windows installed with near-infrared rays retro-reflective film on thermal environment in outdoor spaces using CFD analysis coupled with radiant computation, Building Simulation, 11: 1053-1066.
- [2] Ooka R, Minami Y, Sakoi T, Tsuzuki K, Rijal HB (2010). Improvement of sweating model in 2-node model and its application to thermal safety for hot environments. Building and Environment, 45: 1565–1573.



吉田 伸治 (y-shinji@cc.nara-wu.ac.jp) 奈良女子大学

大阪HITEC20220428

Τ -> θ と読替

0

2-2 評価指標の簡単な紹介④

4) WBGT (従来型)

$$WBGT = \begin{cases} 0.7T_{\scriptscriptstyle W} + 0.2T_{\scriptscriptstyle G} + 0.1T_{\scriptscriptstyle D} & (for\ outdoor\ environment) \\ 0.7T_{\scriptscriptstyle W} + 0.3T_{\scriptscriptstyle G} & (for\ indoor\ environment) \end{cases}$$

よくある方法(Sprungの公式に基づく方法)

$$f = f_{sat(\theta w)} - A \cdot P(\theta - \theta_w)$$
 (Sprungの公式) 日射遮蔽+強制通気

$$f_{sat(\theta)} = 133.3 \cdot \exp\left\{18.6686 - \frac{4030.183}{235 + \theta}\right\}$$
 本来の定義 日射曝露+自然通気

f: 水蒸気分圧[Pa], $f_{\text{sat}(\theta w)}$: 湿球温度 θw に対する飽和水蒸気圧,

A: 乾湿計係数(湿球が氷結していない時 0.000662, 氷結時 0.000583),

P: 大気圧[Pa] (ほぼ101325), 0: 乾球温度 [°C], 0w: 湿球温度 [°C]



大阪HITEC20220428

2-2 評価指標の簡単な紹介⑤

5) WBGT (修正型)

$$WBGT = \begin{cases} 0.7T_{\scriptscriptstyle W} + 0.2T_{\scriptscriptstyle G} + 0.1T_{\scriptscriptstyle D} & (for \, outdoor \, environment) \\ 0.7T_{\scriptscriptstyle W} + 0.3T_{\scriptscriptstyle G} & (for \, indoor \, environment) \end{cases}$$

Τ -> θ と読替

(1) 湿球温度Twの予測精度向上

6mm 自然湿球温度センサー近似式を使用

➡ 自然湿球に対する熱収支式を解く

(2) グローブ温度Tgの予測精度向上 <修正版> グローブ球の熱収支式を用いて算出



吉田 伸治 (y-shinji@cc.nara-wu.ac.jp) 奈良女子大学

大阪HITEC20220428

11

2-3 検討に用いた解析対象

- 右の均等街区モデル(8棟×8棟の街区モデル) 建物は1辺30mの立方体型
- 西面に窓を設置窓面積率80%

大阪の夏季酷暑日を想定 2010/07/23 14時

• 街区中央付近の解析結果を 最終的な評価対象とする

西から6列目、南から5列目 建物の周辺

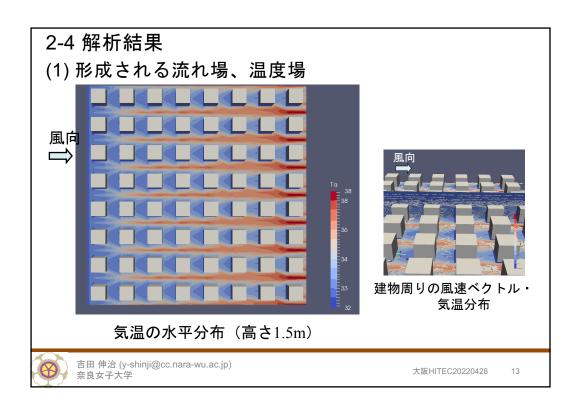
(今回は全ブロックのデータを抽出)

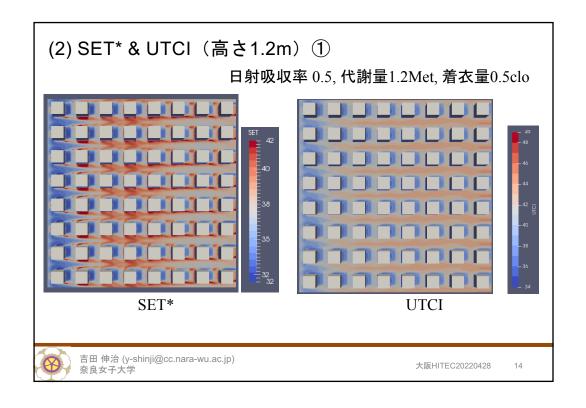


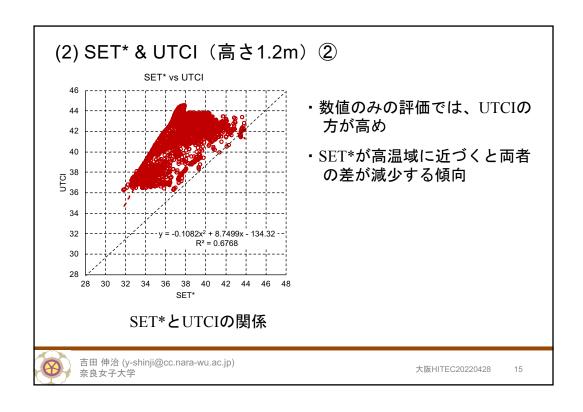


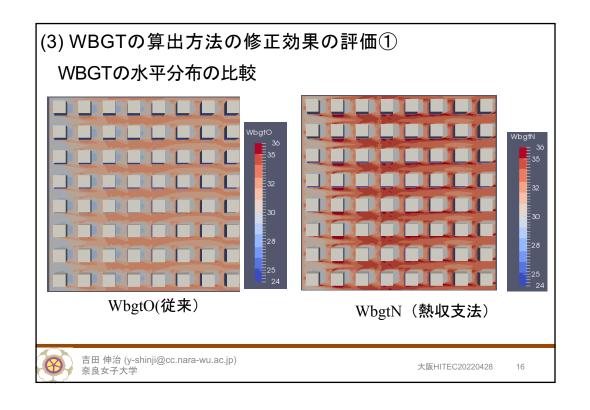
吉田 伸治 (y-shinji@cc.nara-wu.ac.jp) 奈良女子大学

大阪HITEC20220428

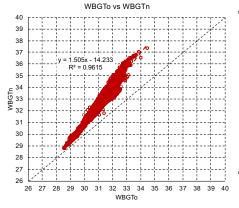








(3) WBGTの算出方法の修正効果の評価②



従来(WbgtO)と修正版(WbgtN) の 関係

- 綺麗な相関関係



Tgの修正に引っ張られた感じ

Tgに比べてやや相関係数が減少 したのは湿球温度のバラツキの 影響によると推察

・日照部で最高3°C程度の差



評価が1段階上がる

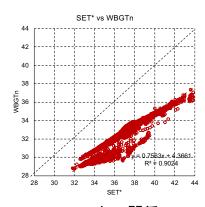


吉田 伸治 (y-shinji@cc.nara-wu.ac.jp) 奈良女子大学

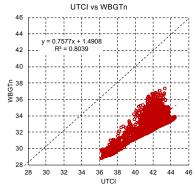
大阪HITEC20220428

17

(参考) WBGTnとSET*, UTCIの関係



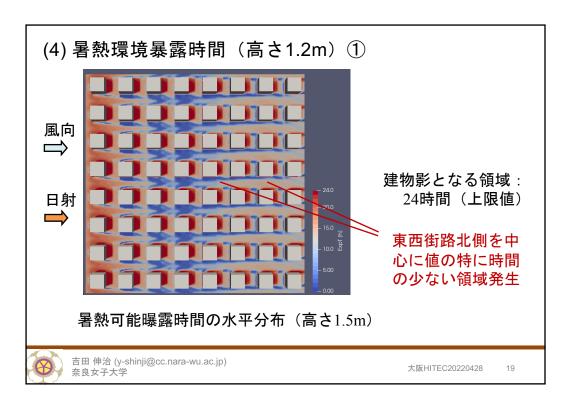
SET*との関係

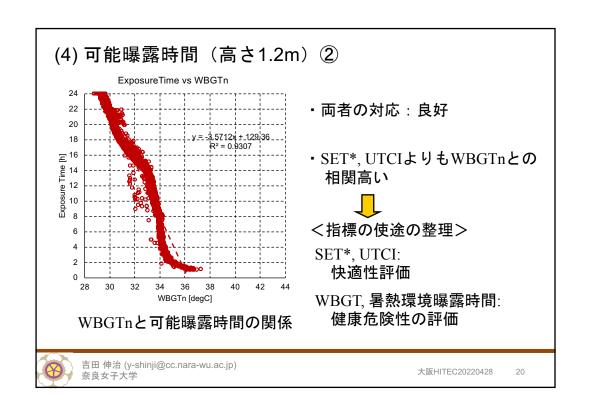


UTCIとの関係

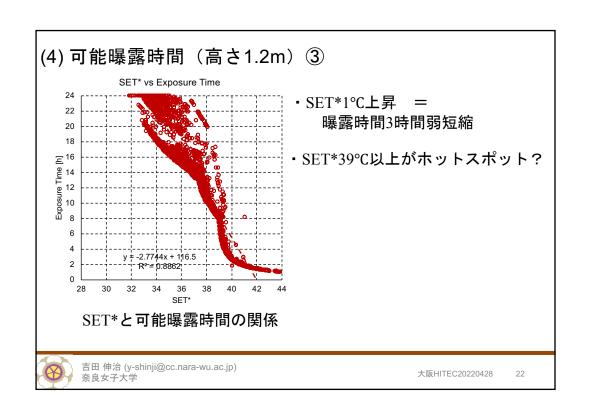


大阪HITEC20220428





(4) 可能曝露時間(高さ1.2m) ② ExposureTime vs WBGTn ・WBGTn が 34℃を境に傾向が 24 変わる様に見える 22 20 3.5712x + 129 36 18 ・可能曝露時間の決定プロセス 돌 16 (1) 心部体温が38℃に到達 Exposure Time [8 8 12 12 12 8 (2) 体重の3%の汗を分泌 (3) 24時間でも未到達(頭打ち) 6 2 (1) 成立時:可能曝露時間が短い 28 WBGTn [degC] WBGTn>34℃がホットスポット WBGTnと可能曝露時間の関係 の基準? 吉田 伸治 (y-shinji@cc.nara-wu.ac.jp) 大阪HITEC20220428



2-5 結果の整理①

評価指標の相互比較

指標	入力環境条 件	算出難易 度	温熱快適 性評価	熱中症危 険度評価	備考・留意点
SET*	温熱6条件	В	0	0?	・現在、国内で最も汎用に使用 ・ホットスポットの基準:38℃以上か?
UTCI		A	0	Δ	・欧州中心に活用例が多い。 ・多項式が煩雑 ・人体熱収支メカニズムとの関連を構造的に分析することは困難
暑熱可能曝 露時間		С	×	0	・Two-nodeモデルを使えば評価可能。 ・心部体温38℃ or 発汗量が体重の3%を超 過で限界
人体熱収支 法		В	0	Δ	・温冷感、快適感の評価のための環境曝露時間に課題あり
WBGTo		Α	×	Δ	・WBGTnよりやや低めの評価
WBGTn	グローブ温度、 湿球温度	С	×	0	・本来の定義に基づく。グローブ球、湿球の熱収支を解くためのデータが別途必要。 ・ホットスポットの基準:34℃以上か?

8

吉田 伸治 (y-shinji@cc.nara-wu.ac.jp) 奈良女子大学

大阪HITEC20220428

20

2-5 結果の整理②

評価指標毎の入力条件の整理

指標	気温	湿度	風速	放射	代謝	着衣	備考
SET*	0	0	0	0	0	0	・MRT計算時に人体形状を考慮した方向 別重み付けを施した上で、放射収支を評価する場合が多い。
UTCI	0	0	0	0	-	-	
暑熱可能 曝露時間	0	0	0	0	0	0	・MRTの値には人体表面の日射吸収率の 影響を含むため、明記が必要。下記の場
人体熱収 支法	0	0	0	0	0	0	合は、0.7、0.5を設定する場合が多い。
WBGTo	0	0	0	0	_	_	・日照部のグローブ温度の影響を特に過小 評価する傾向あり。
WBGTn	0	O*	0	O*	-	_	・WBGToより計算負荷は大ではあるが、こちらの方が妥当な解が得られやすいと期待される。

吉田 伸治 (y-shinji@cc.nara-wu.ac.jp) 奈良女子大学

大阪HITEC20220428

0. 本日の説明内容

- 1. 空間評価WGの紹介
- 2. 昨年度の活動内容の報告
- 3. 今後の課題(今年度の目標)
- 4. まとめ



大阪HITEC20220428

25

3. 今年度の目標

3-1 はじめに

イベント会場(万博会場など)を対象とする解析への要望



-イベント会場の温熱環境評価

会場ゲート付近の温熱環境評価

二つの対象の共通点:群衆と温熱環境の相互影響の評価

従来の屋外空間の温熱環境評価における歩行者



暑熱環境の悪化を受容する存在



暑熱環境悪化の要因かつ受容の2面性に着目



大阪HITEC20220428

3-2 群衆影響を考慮した解析の基本的な考え方

• CFD解析における複雑形状 の再現



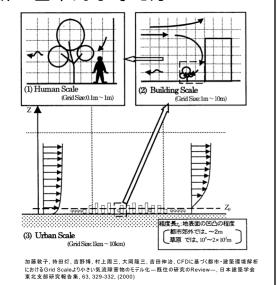
細かいメッシュ分割の導入

計算負荷の増大

細分化には限界がある

く従来>

地形、建物等の主要な要素の形状のみ考慮したメッシュ分割





吉田 伸治 (y-shinji@cc.nara-wu.ac.jp) 奈良女子大学

大阪HITEC20220428

27

3-2 群衆影響を考慮した解析の基本的な考え方②

• サブモデルの導入

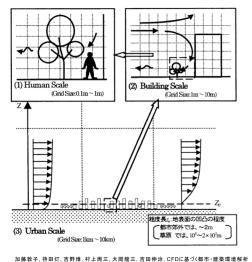


後何形状の詳細な再現を 行わないものの、着目する 要素の環境に対する影響を モデル関数で再現するもの

都市気候解析におけるサブモデルの 導入例

> 植栽、道路交通(車)、 都市キャノピー

<今回> 群衆を加える



加藤敦子, 持田灯, 吉野博, 村上周三, 大岡龍三, 吉田伸治, CFDに基づく都市・建築環境解制 におけるGrid Scaleより小さい気流障害物のモデル化一既往の研究のReview―, 日本建築学会 東北支部研究報告集, 63, 329-332, (2000)

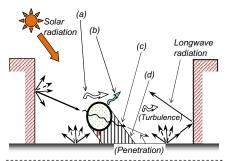


吉田 伸治 (y-shinji@cc.nara-wu.ac.jp) 奈良女子大学

大阪HITEC20220428

3-2 群衆影響を考慮した解析の基本的な考え方③

- 群衆影響のサブモデルの導入
 - □ 植栽(街路樹)の熱的影響モデルを参考に構築したい



- (a) drag force effects of the plant
- (b) production of latent heat from the plant canopy
- (c) shading effect on longwave radiation
- (d) shading effect on solar radiation

吉田伸治、大岡龍三、持田灯、富永禎秀、村上周三、樹木モデルを組み込んだ対流・放射・湿 気輸送達成解析による樹木の屋外温熱環境緩和効果の検討、日本建築学会計画系論文集 536号、PP、87-94、(2000)



吉田 伸治 (y-shinji@cc.nara-wu.ac.jp) 奈良女子大学

大阪HITEC20220428

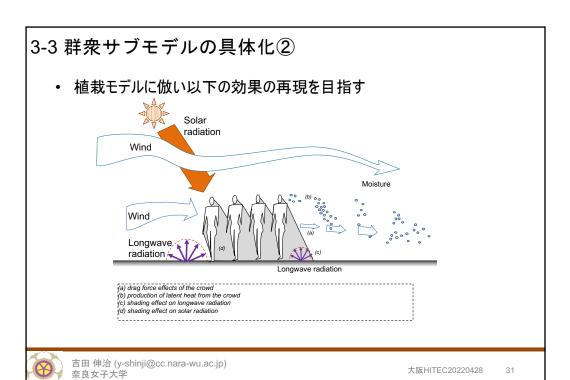
20

3-3 群衆サブモデルの具体化

- 植栽モデルに倣い以下の効果の再現を目指す
 - (1) 日射(短波長放射)の群衆通過時の人体表面での吸収、反射に 基づく減衰、透過
 - (2) 長波長放射の群衆通過時の人体表面での吸収、反射に基づく減衰、透過
 - (3) 群衆の流体力学的影響(風速減衰、乱れの増加)
 - (4) 群衆を構成する人体の熱収支に基づく人体の平均皮膚表面温度、 表面からの顕熱ならびに潜熱の放散



大阪HITEC20220428



0. 本日の説明内容

- 1. 空間評価WGの紹介
- 2. 昨年度の活動内容の報告
- 3. 今後の課題(今年度の目標)
- 4. まとめ



大阪HITEC20220428

大阪HITEC20220428

4. まとめ

• 今年度の成果を確認

熱環境適応策を導入すべきホットスポット

• 次年度の主要テーマ: 群衆影響のモデル化の考え方を整理



大阪HITEC20220428

3.3