

【2-2106】 人口流動データと温熱シミュレータによる都市におけるヒートアイランド暑熱リスクに関する研究（R3-5）

【研究領域】 気候変動領域

【体系的番号】 J P M E E R F 2 0 2 1 2 0 0 6

【行政要請研究テーマ】

地域特性に応じた気候変動影響予測及び適応の推進に関する研究

【研究代表機関および研究代表者】

国立研究開発法人 建築研究所 足永靖信

【研究体制】

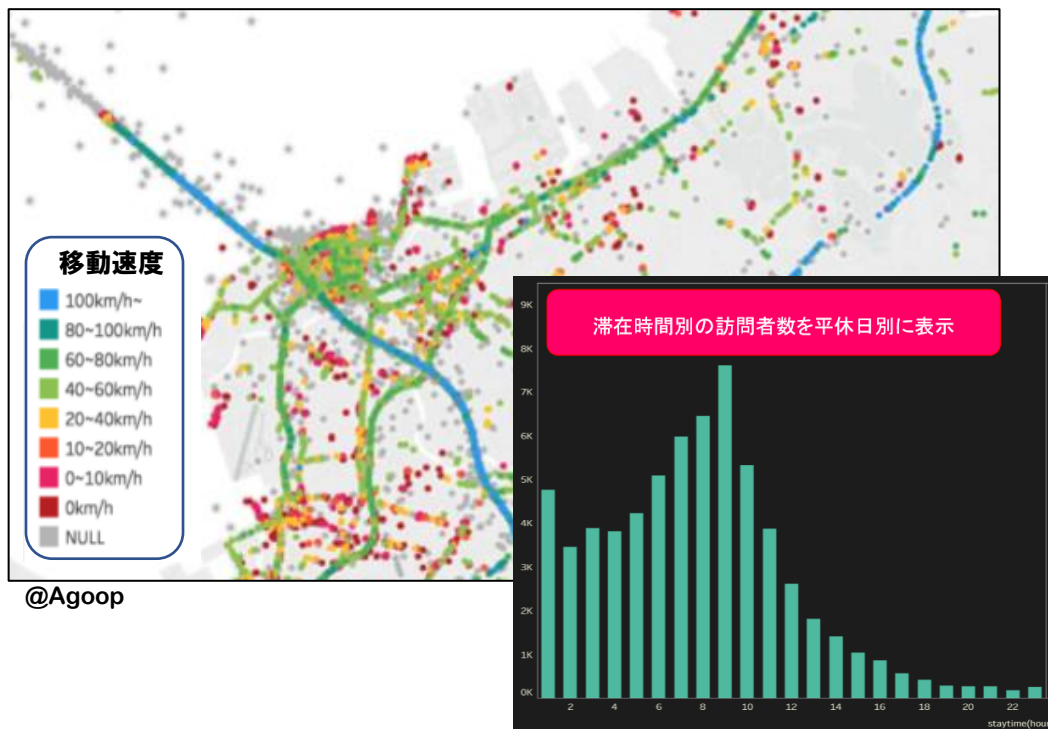
サブテーマ1 リーダー 熊倉永子（国土技術政策総合研究所）

サブテーマ2 リーダー 足永靖信（建築研究所）

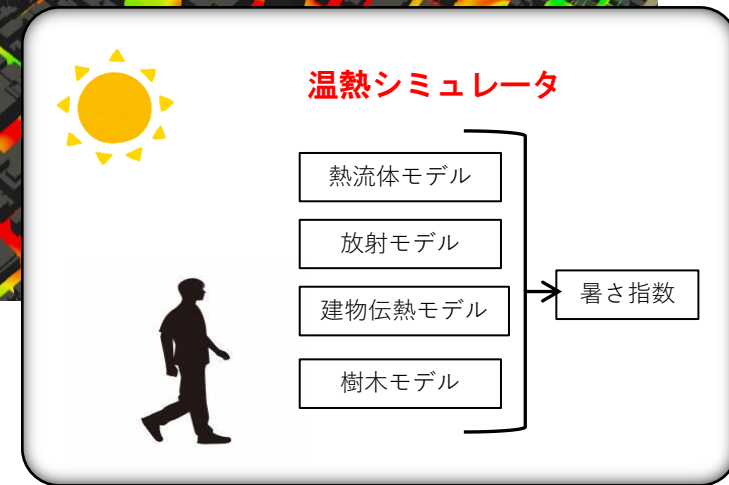
研究分担機関：東京都環境科学研究所、早稲田大学

研究目的

本研究は、暑さ対策の推進に資するため、人口流動のビッグデータと温熱シミュレータを組み合わせ、都市における暑熱リスクを評価する手法を開発することを目的とする。



サブテーマ1：人口流動データによるヒートアイランド暑熱リスクに関する研究（国総研、早大）



サブテーマ2：温熱シミュレータによるヒートアイランド暑熱リスクに関する研究（建研、都環研）

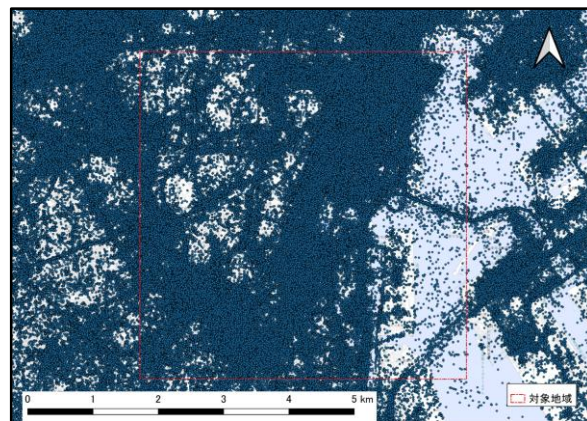
人口流動データと温熱シミュレータによる
都市開発におけるヒートアイランド暑熱リスクに関する研究

サブテーマ 1

「人口流動データによるヒートアイランド暑熱リスクに関する研究」



検討対象エリア（サブ
テーマ1、2で共通）



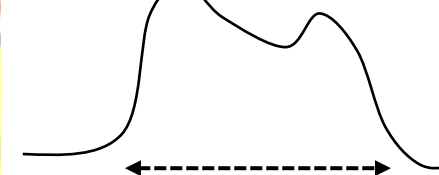
携帯電話の位置情報



建物配置と通行人口 データの紐づけ



通行人口

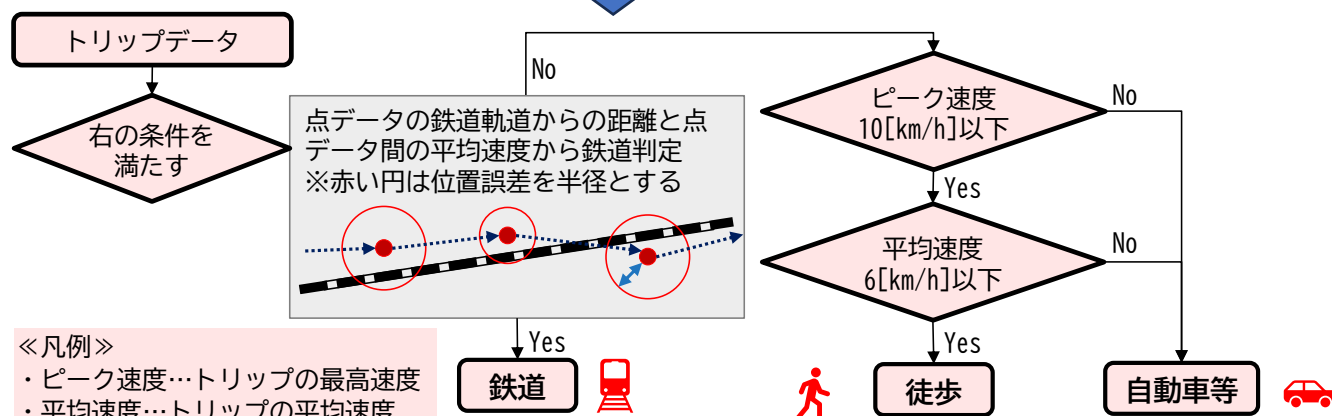


建物の稼働時間

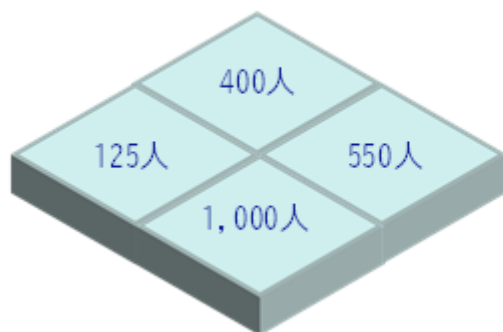
人口密度の変化から建物の入退館および稼働時間を推定

人口流動データで都市活動を可視化し、サブテーマ2へ提供

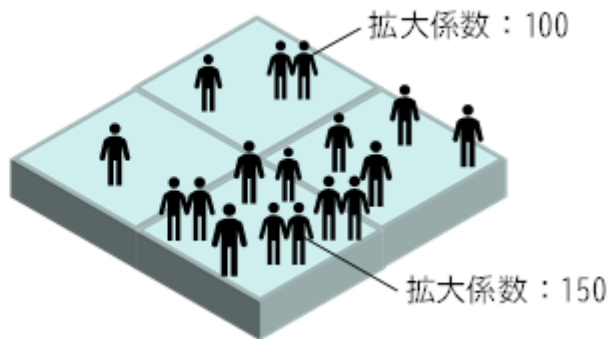
- ・ 歩行者数
- ・ 人工排熱



移動速度から移動手段を推定

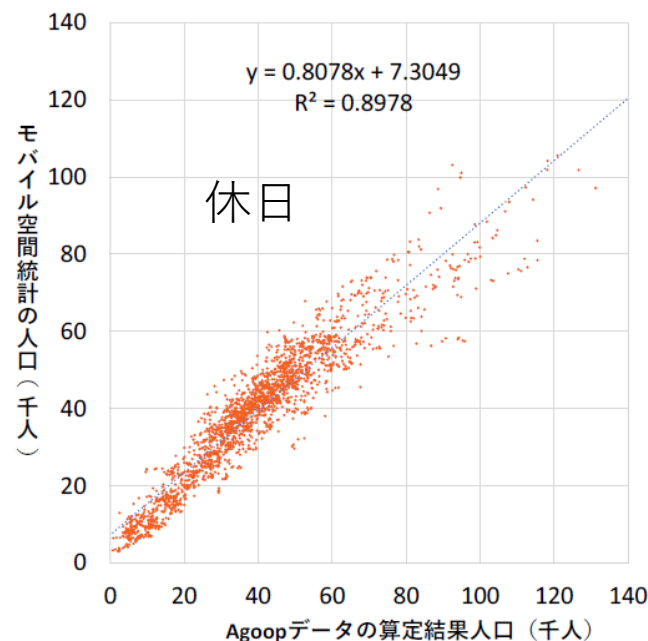
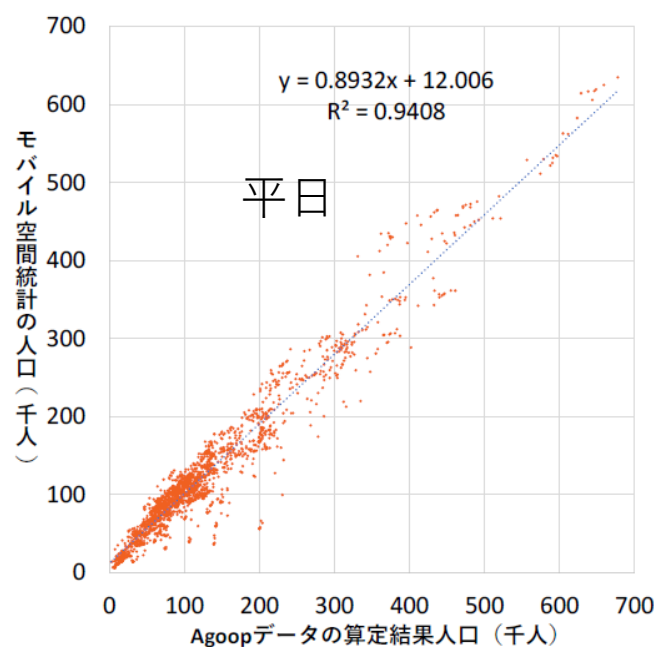


500mメッシュモバイル空間統計データ
(教師データ)

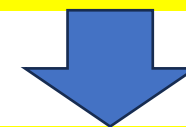


Agoopポイントデータ

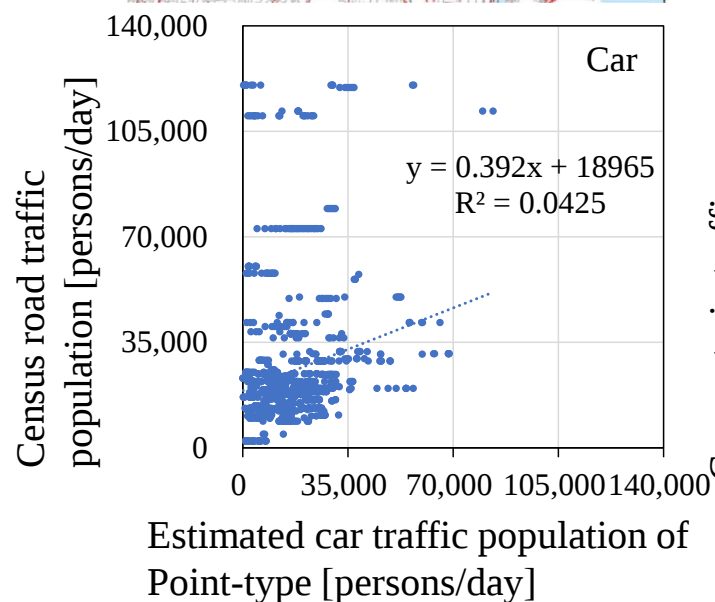
- ①5km四方を100mメッシュにブロック分割し、各ブロックにユーザグループ i を紐づけ（ブロックに滞在するAgoopポイントデータの時間の長さで判断）
- ②本研究で独自に開発した拡大推計手法によりユーザグループごとに拡大係数 a_i （1～最大2500）を算出



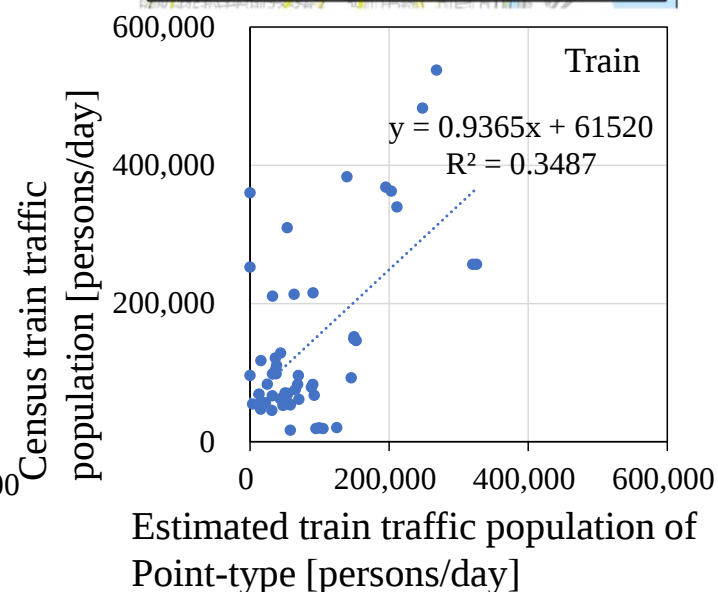
2019年8月の人流データ（コロナ禍以前）を使用して人流データに拡大推計手法を適用



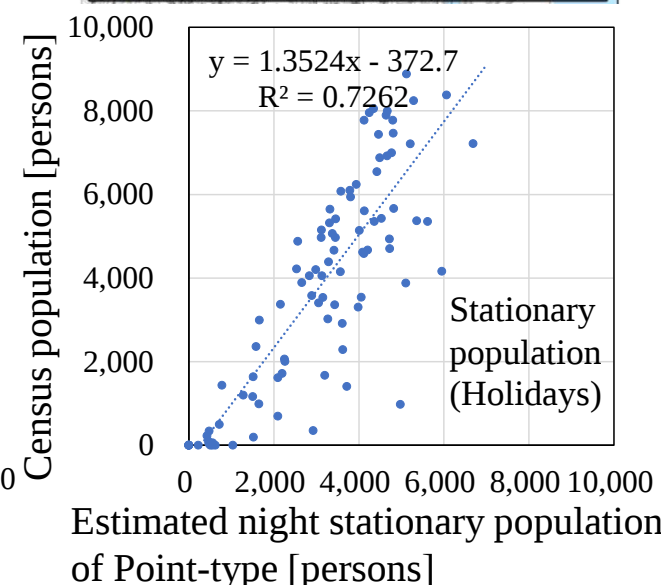
推定結果をモバイル空間統計データと比較し、高い決定係数（平日0.94、休日0.90）を得た



交通センサスとの対応は良くない
⇒道路排熱は交通センサスで算出



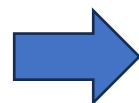
鉄道は今回提供対象としない



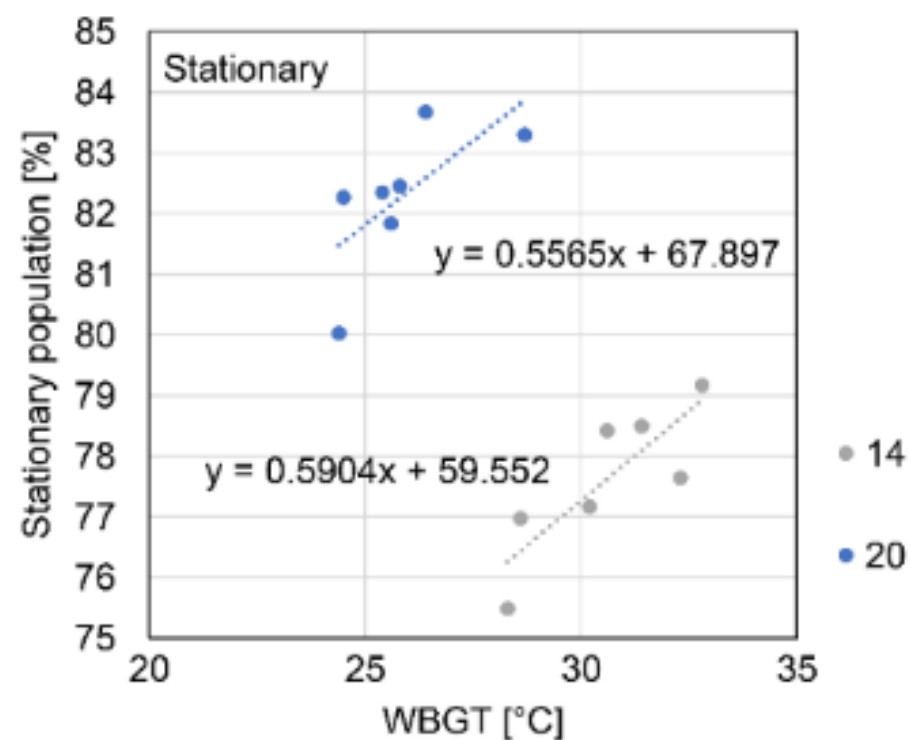
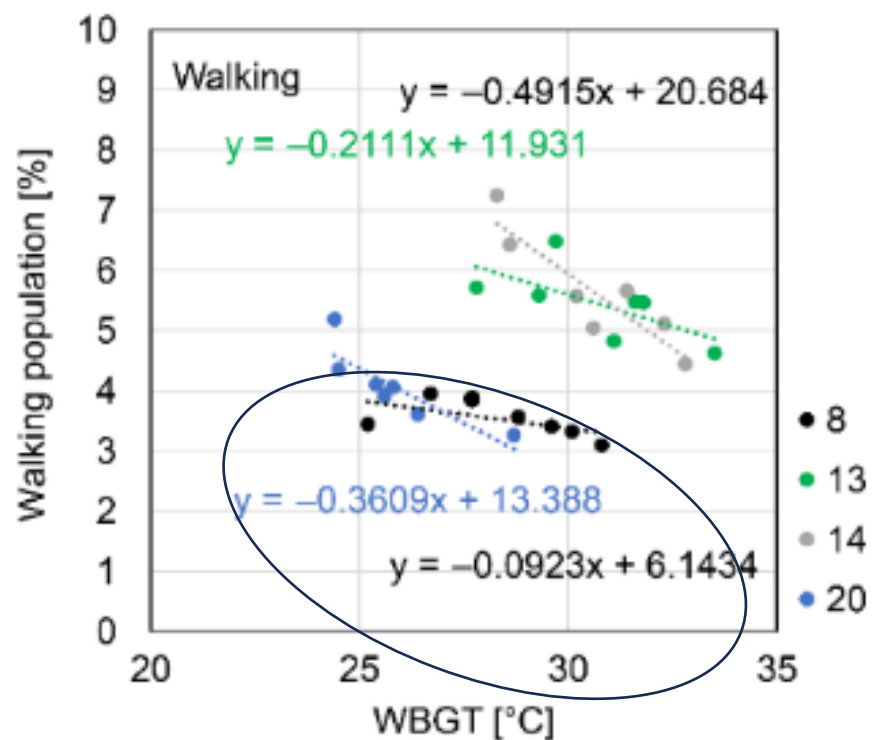
人流による滞在数は国勢調査と比較的合致

人流による各種推定値を公共データと比較

暑さ指数（WBGT）が大きくなると、歩行者は減り、滞在者が増える。



居住者が暑さに対して自ら適応・対応していることが人流データに表れている。



暑さ指数（WBGT）に対する感度は晩20時が朝8時のものより4倍大きい。

休日における歩行者と滞在者について暑さ指数（WBGT）との関係

建物の人工排熱の算定ロジック

人流データから推定した建物の稼働時間を反映

○ 建物の時刻別冷房需要
= 年間の冷房需要 × 月需要の係数 × 時間需要の係数

○ 冷房エネルギー = $\frac{\text{冷房需要}}{\text{システムCOP}}$

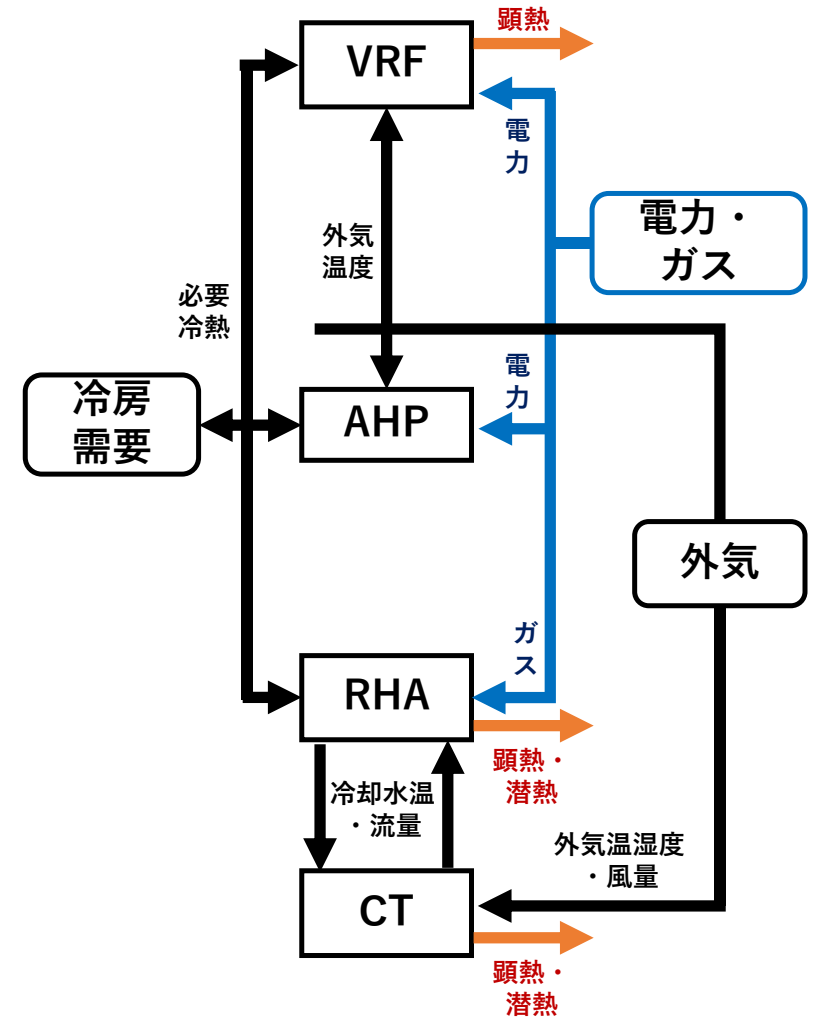
建築研究所の省エネ算定webプログラムの計算ロジックを適用

○ 空調システムの人工排熱(全熱)
= 顕熱比率 × (冷房需要 + 冷房エネルギー)
+ 潜熱比率 × (冷房需要 + 冷房エネルギー)

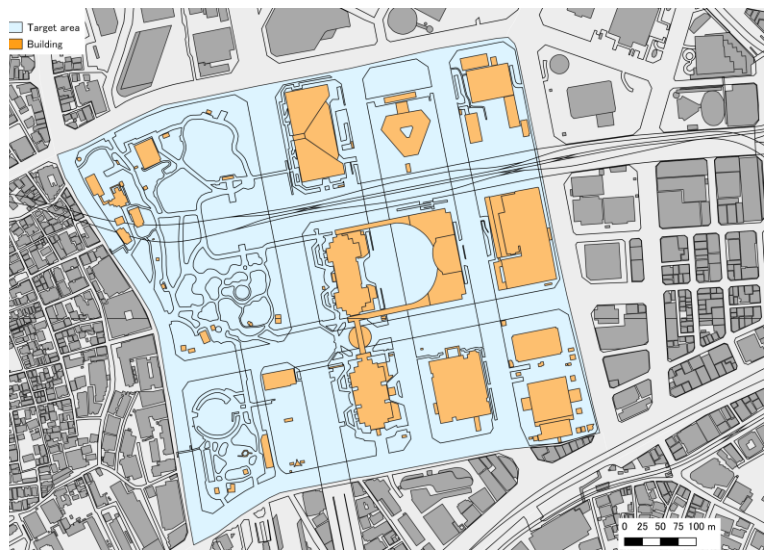
環境省・国土交通省による人工排熱調査（2004）

- ・ 都内の建物稼働実態が当時不明
- ・ 調査から20年を経過

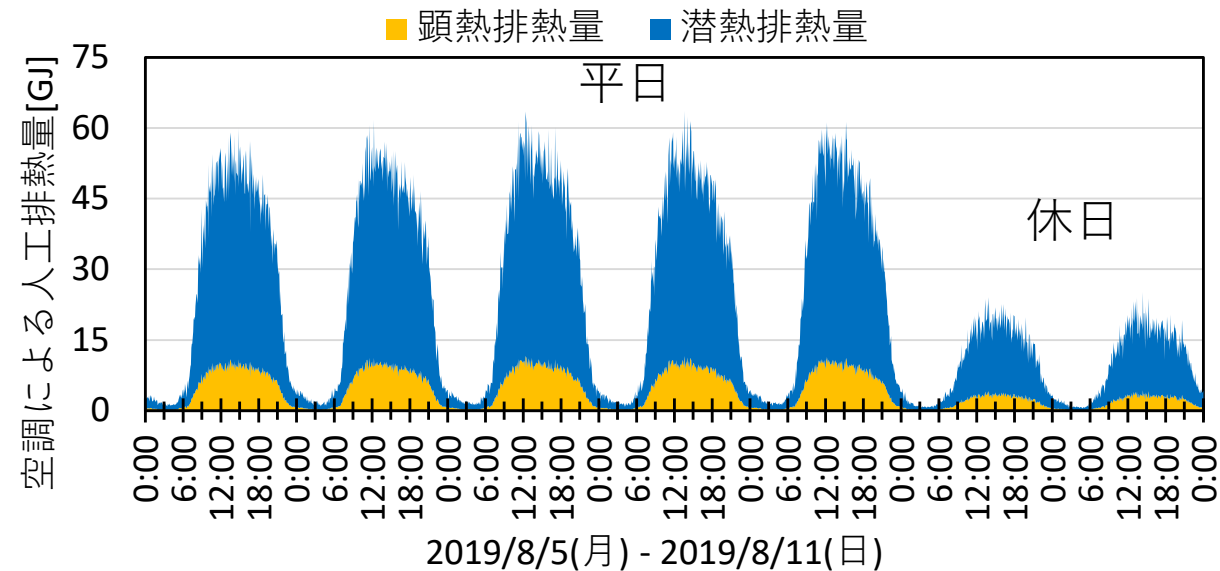
➡ : 排熱 ➡ : エネルギー ➡ : その他



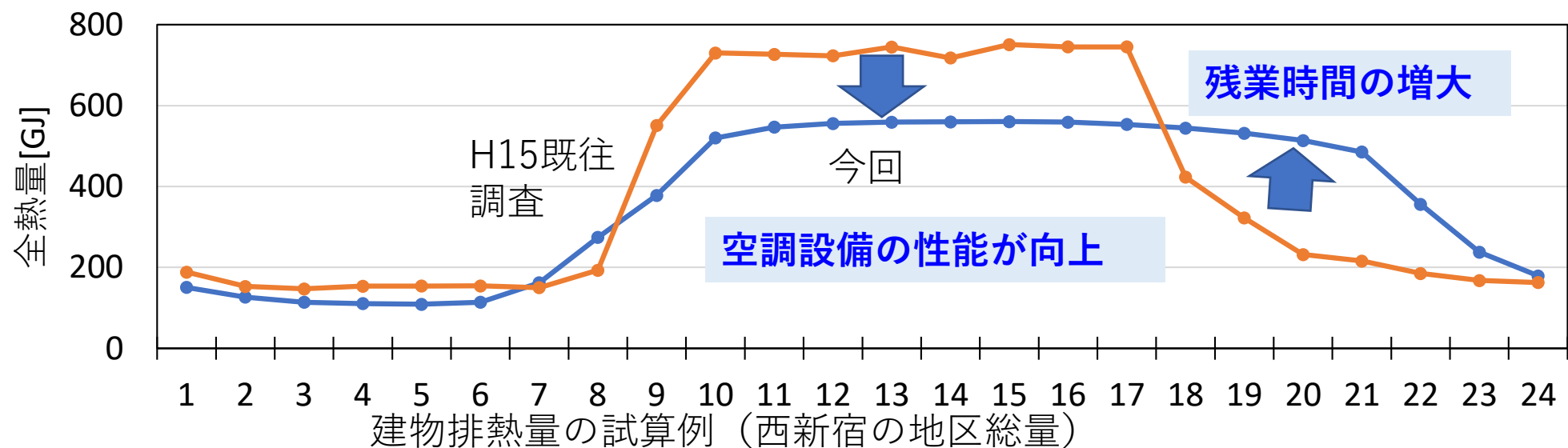
冷房による人工排熱の計算フロー



西新宿地区に本研究の手法を適用



代表的な1週間における5分間隔の人為的熱量



Ueno, T., Kumakura, E., Ashie, Y., (2023). Estimation of regional anthropogenic heat from air conditioning systems and related devices in metropolitan commercial districts of Japan. City and Built Environment, 1(9), <https://doi.org/10.1007/s44213-023-00009-w>

熱的脆弱性の検討

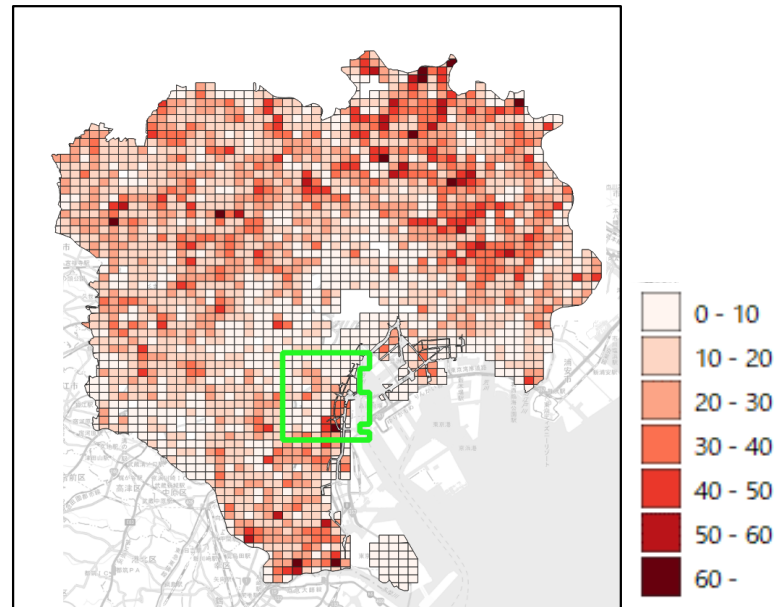
東京消防庁の熱中症搬送者数の資料を基に、東京23区の熱中症発率Pを算出

$$P = \sum_{t=1}^{24} \frac{M_{t,g}}{N_{t,g}}$$

M : 1メッシュ当たりの7月・8月の熱中症搬送者数[人]

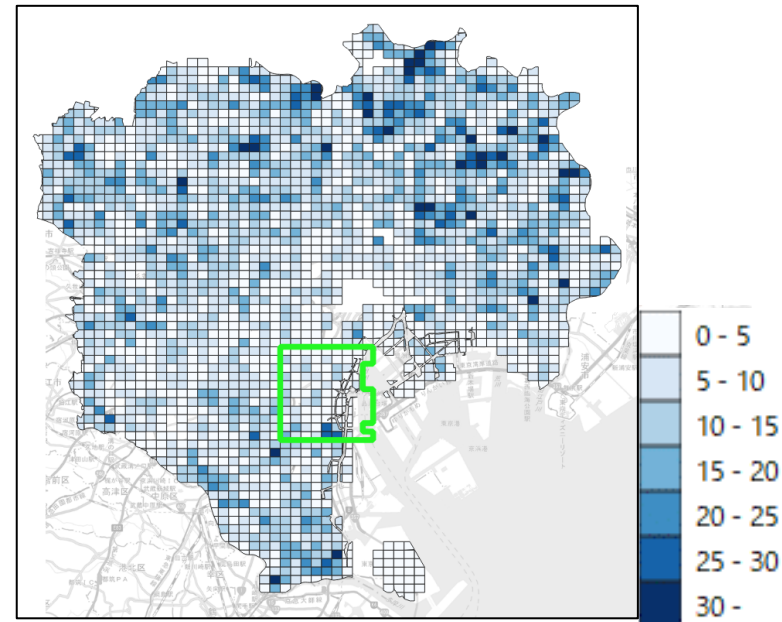
N : 1メッシュ10000人当たりの統計人口[人]、

t : 時刻[h]、g : 年代・性別（20代～80代を10歳刻み・男女別）



家屋内の熱中症発生率

重回帰分析の決定係数：0.313
相関正：高齢者人口、低所得世帯、住宅延床面積
相関負：RC住宅棟数



屋外の熱中症発生率

重回帰分析の決定係数：0.242
相関正：道路面積、空地面積、建築面積
相関負：緑被率、延床面積

高輪地区

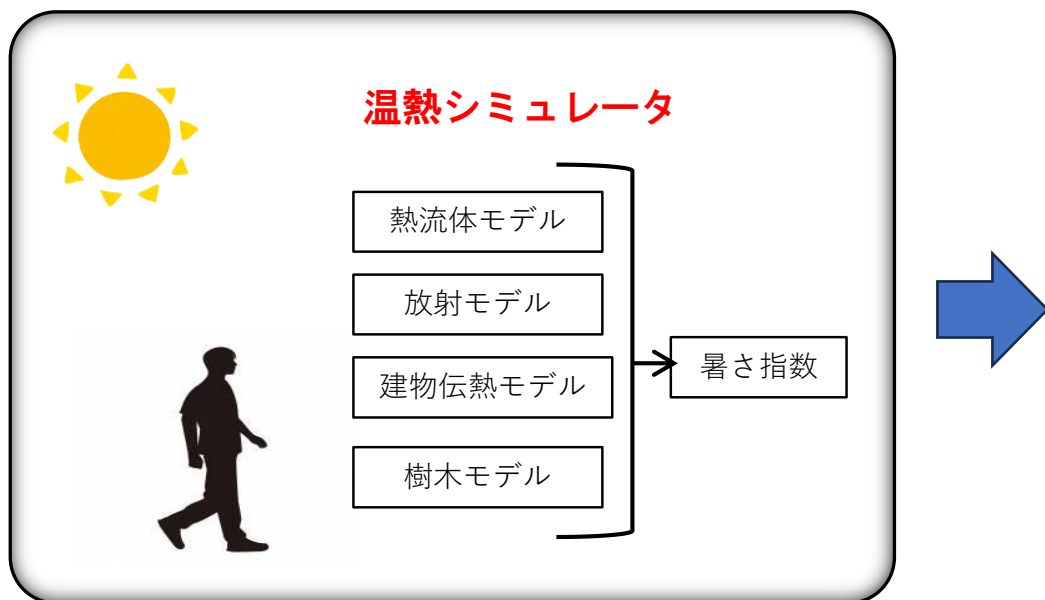
高輪地区の熱中症発生率は局所的に高く表れている。

サブテーマ 2

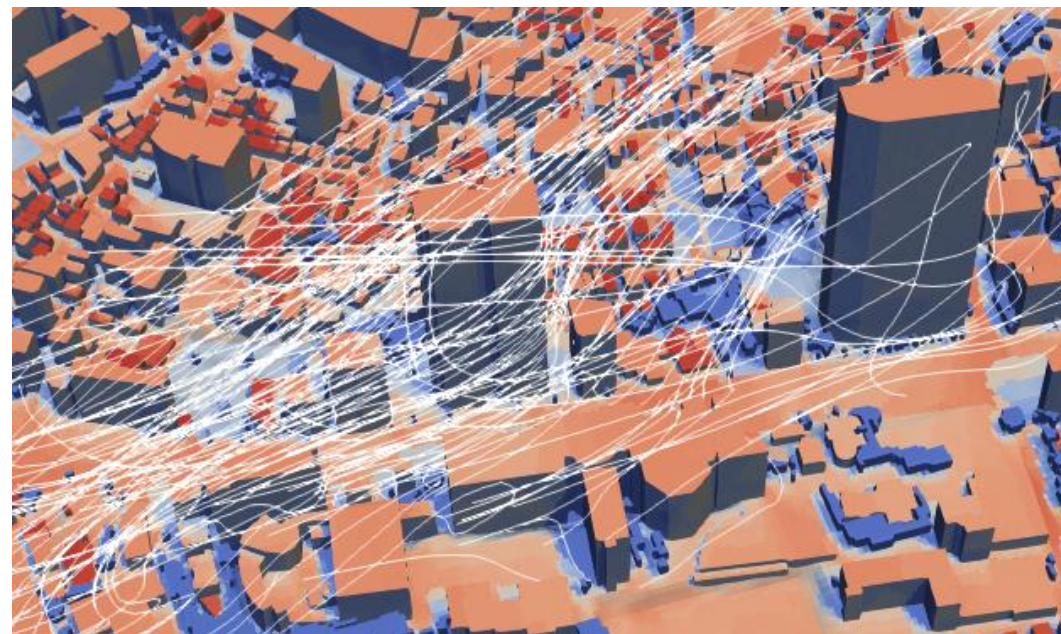
「温熱シミュレータによるヒートアイランド暑熱リスクに関する研究」

サブテーマ 2 では温熱シミュレータを開発し、暑熱ハザードとして暑さ指数の定量化を行う。

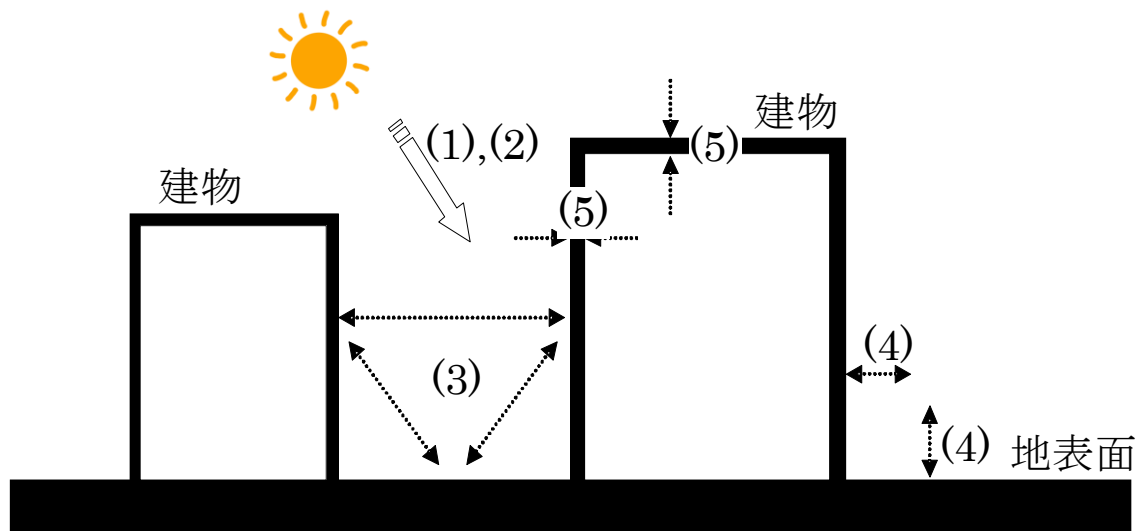
温熱シミュレータ：熱流体モデル、放射モデル、建物伝熱モデル、樹木モデルを連成し、都市の温熱環境を予測する計算プログラム



温熱シミュレータの開発

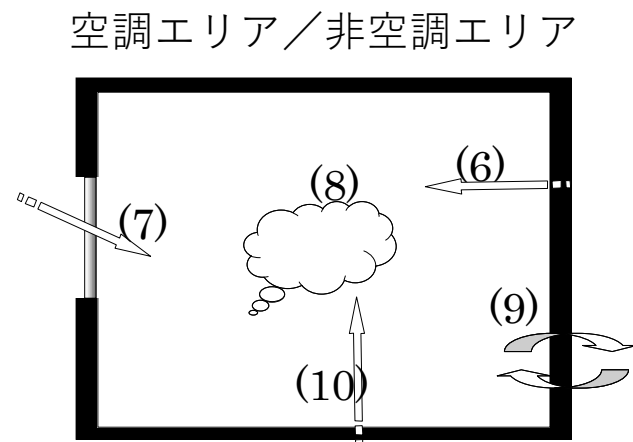


実際の都市への適用



(a)地物表面の熱収支

- (1)太陽からの短波放射（直達・散乱）
- (2)大気からの長波放射
- (3)地物表面間の放射熱伝達
- (4)地物表面と周辺大気の顕熱・潜熱輸送
- (5)建物壁・屋根内部の熱伝導



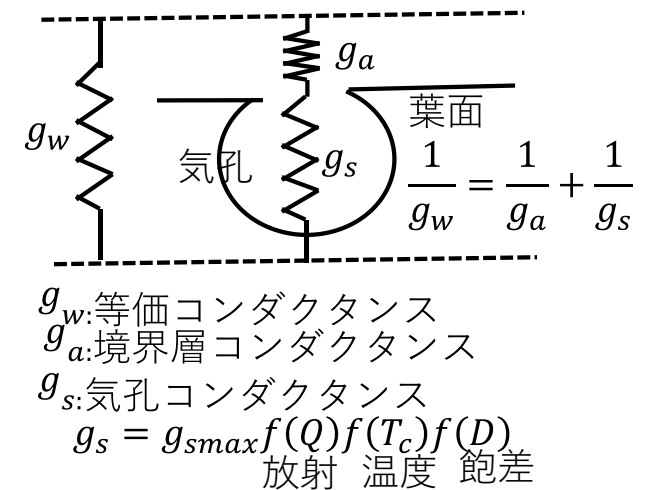
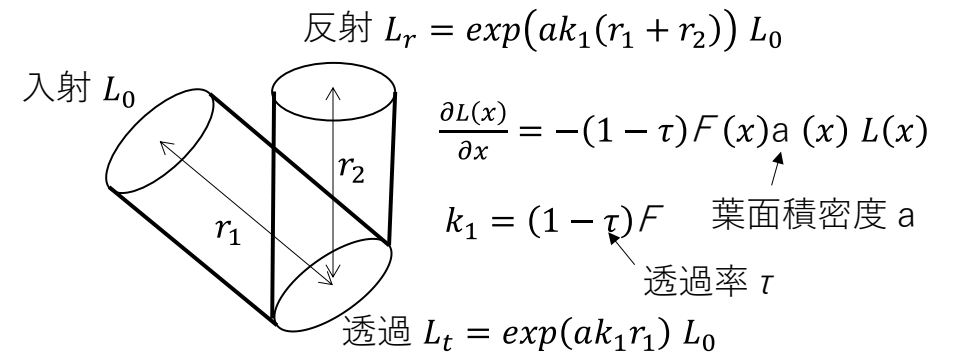
(b)建物伝熱モデル

- (6)室内空気と壁表面の顕熱輸送
- (7)日射熱
- (8)内部発生熱(顕熱・潜熱)
- (9)換気(顕熱・潜熱)
- (10)床放熱

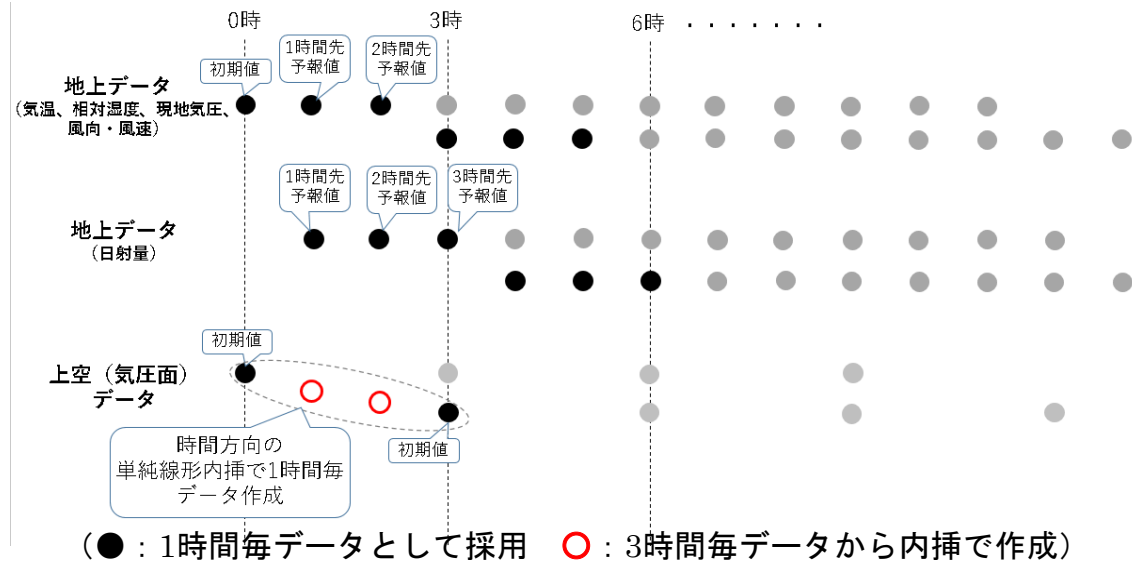
都市空間伝熱モデル

項 目	内 容
乱流モデル	標準 $k - \varepsilon$ モデル
基礎方程式系	- 質量保存方程式 - 運動量輸送方程式 (浮力、樹木抗力を考慮。) - エネルギー輸送方程式 (壁面、葉面等からの顕熱放散を考慮。) - 水蒸気の輸送方程式 (壁面、葉面等からの潜熱放散を考慮。) - 乱流エネルギーの輸送方程式 (浮力、湿気、樹木による乱れの生成を考慮。) - 乱流エネルギー散逸率の輸送方程式 (浮力、湿気、樹木による乱れの散逸を考慮。)

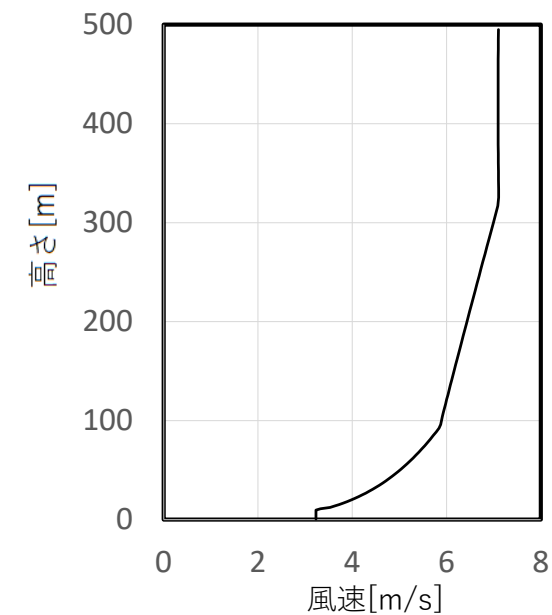
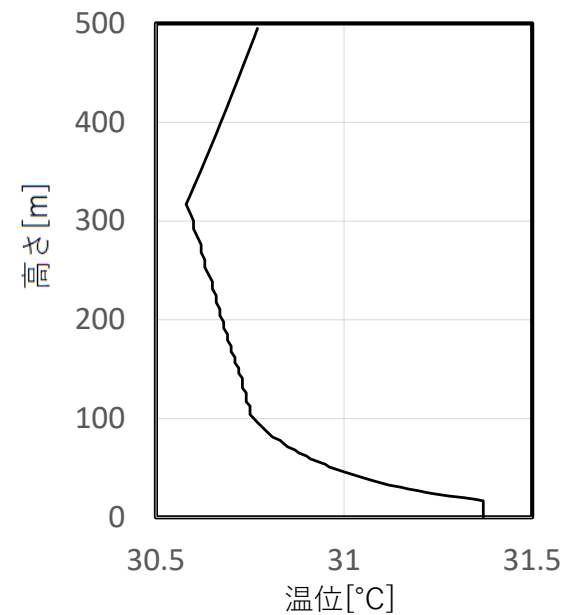
CFDモデル



樹木モデル



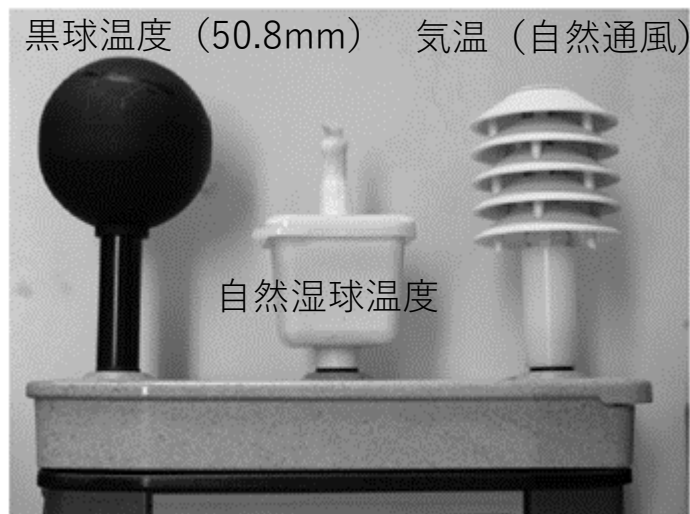
気象アーカイブデータの
活用 (気象庁MSM)



境界条件の事例
(2019年8月10日14時)

WBGTの計算ロジックの高度化

暑さ指数（WBGT）では、周囲の放射、気流への暴露影響を受けない湿球温度を使用。
ISO7243では自然湿球の熱収支式を提示。



ISO型機器（斎藤・澤田（2015））

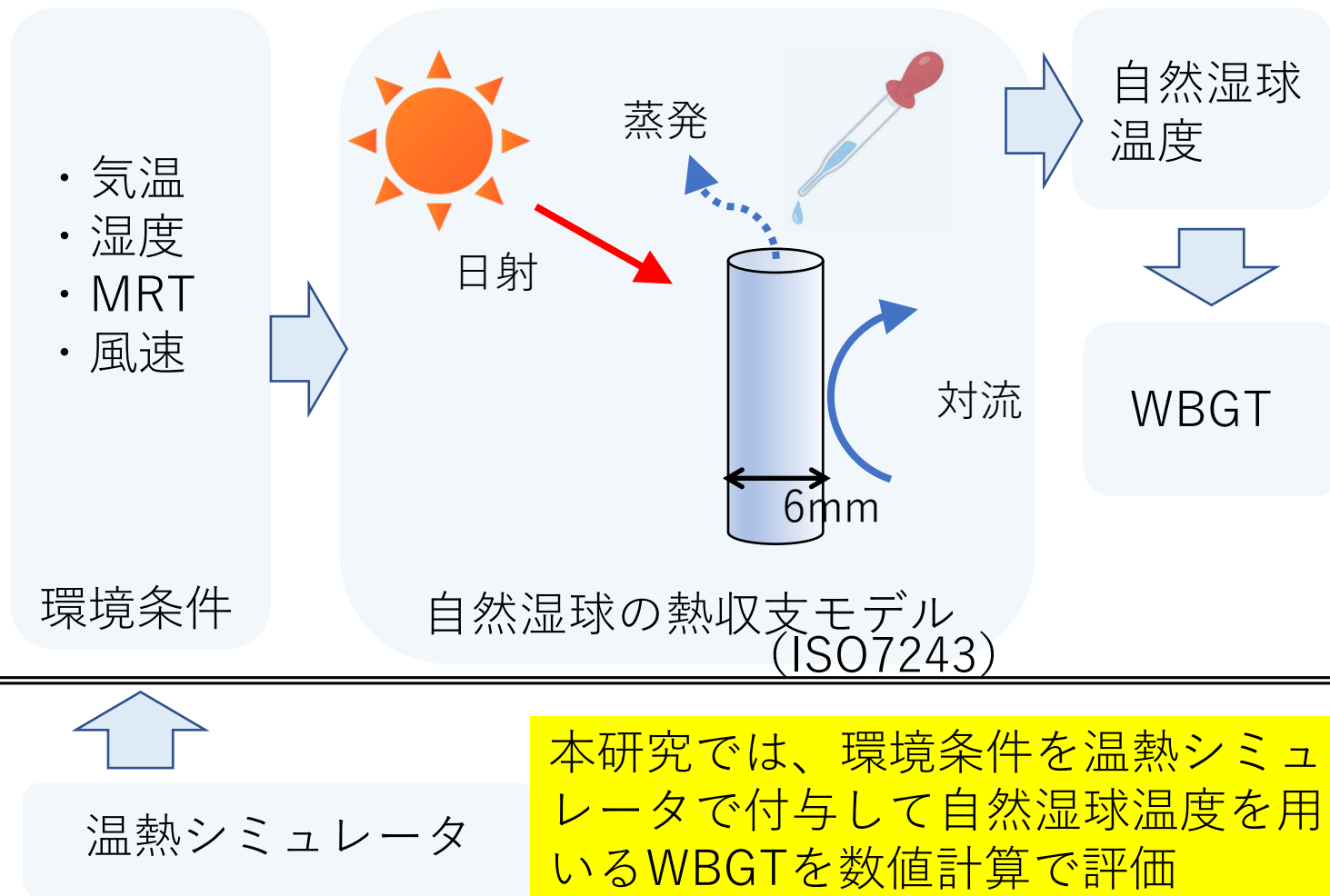
$$\text{WBGT} = \text{自然湿球温度} \times 0.7 + \text{黒球温度} \times 0.2 + \text{気温} \times 0.1$$

自然湿球温度：環境（放射、気温、湿度、風）に曝された濡れたガーゼに包まれたセンサ温度

黒球温度：直径150mm黒球の温度

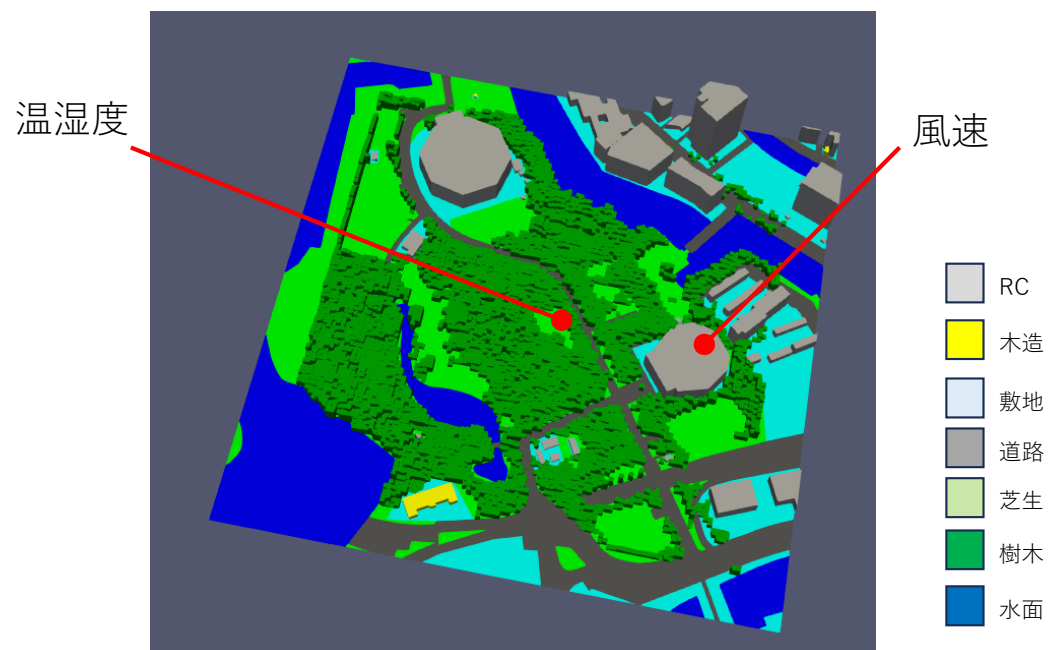
気温：放射を遮蔽し、センサ周辺の気流を妨げない状態で計測された温度

出典：ISO7243（2017）

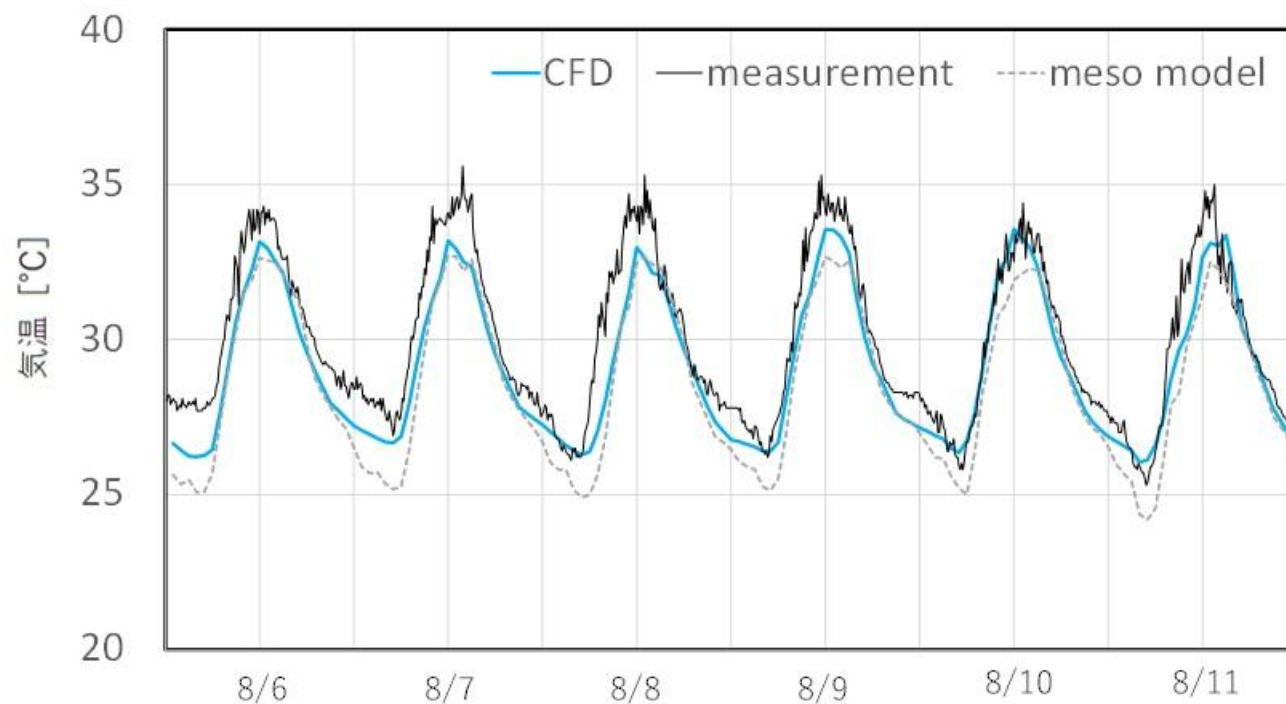


モデル検証

アメダス（東京）が設置されている北の丸公園地区（600m四方）を温熱シミュレータで解析し、観測値と計算値を比較した。モデル検証は、これ以外に風洞実験や建物熱負荷のベンチマークテストなどを実施した。



北の丸公園地区

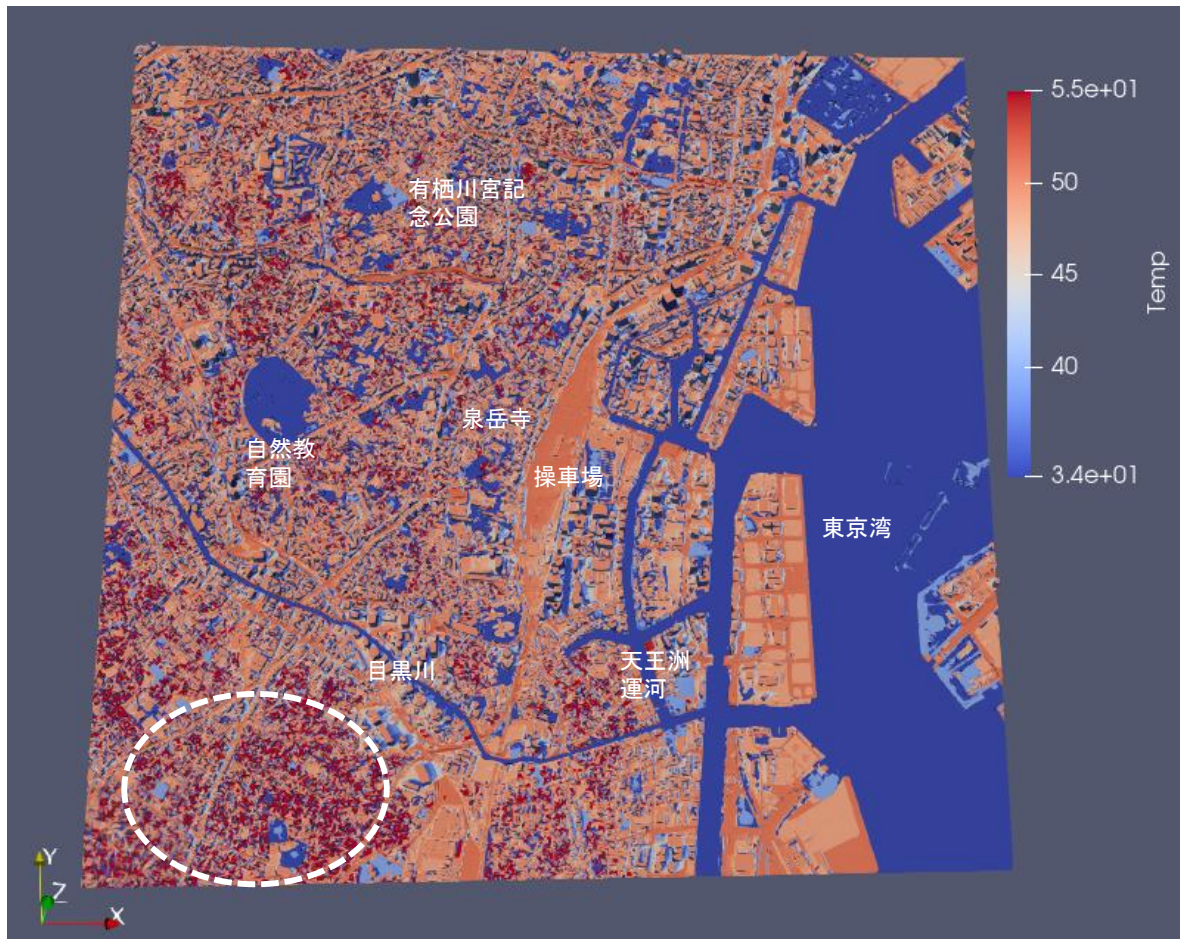


気温の時間変動

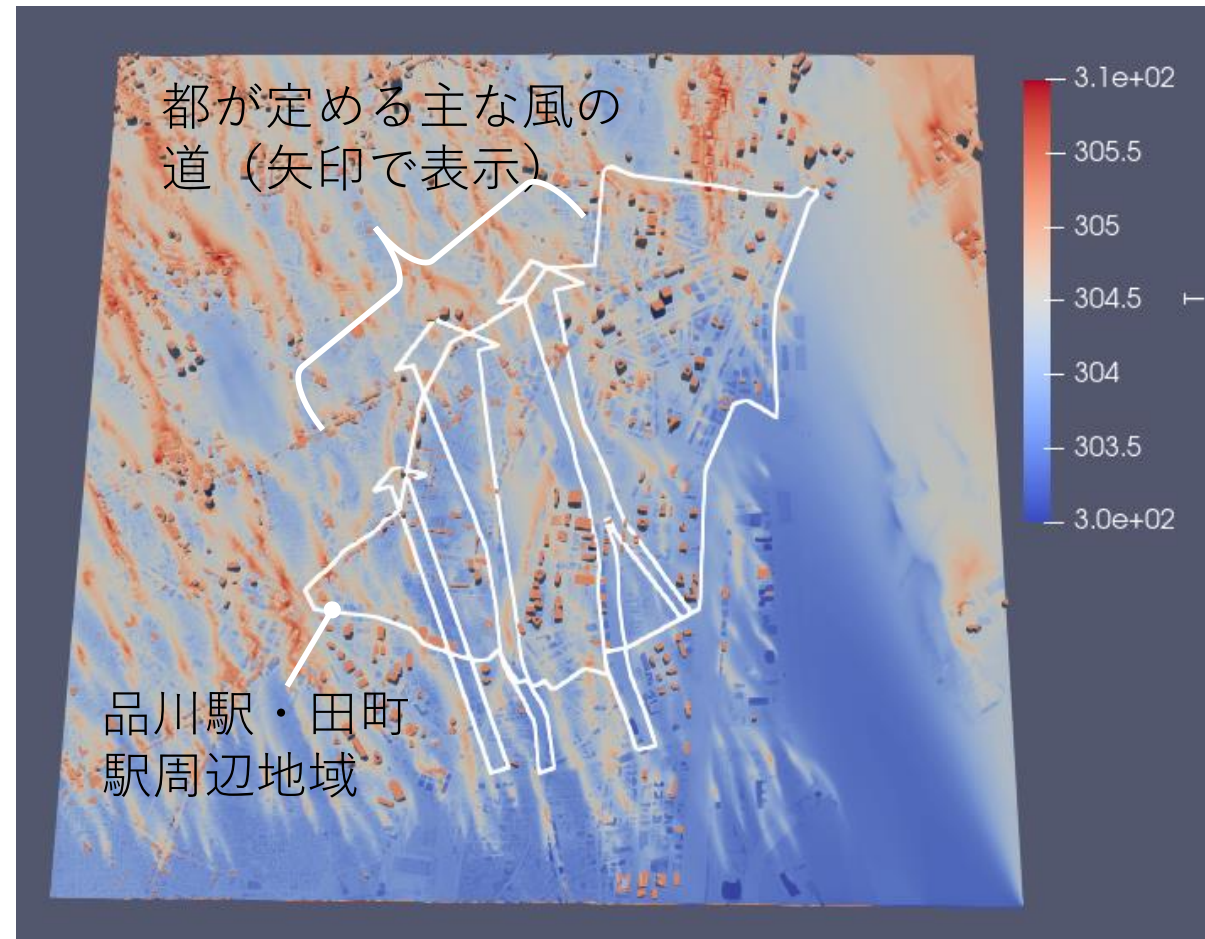
Ashie, Y., E. Kumakura, T. Ueno: Development of the urban thermal simulator and its validation, 6th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Islands, RMIT University, 2023.12

都市への適用

実際の都市（東京都高輪地区）に温熱シミュレータを適用した。
計算にはスーパーコンピュータ富岳を活用した。
計算領域：6km四方（2m解像度）
計算規模：9億メッシュ



富岳による表面温度の計算結果
（地区全域、2019年8月9日14時）



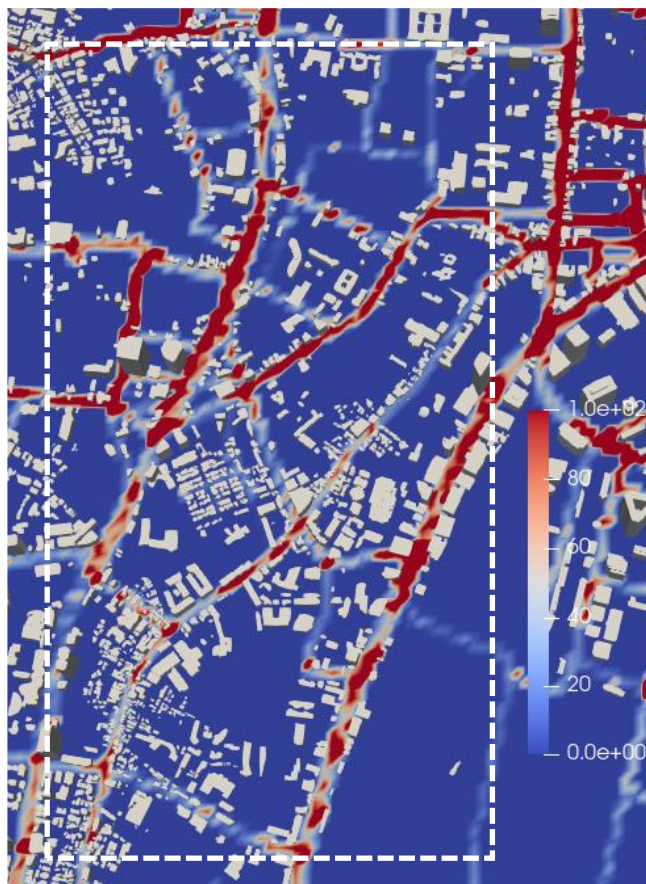
富岳による50m高さの気温の計算結果
（地区全域、2019年8月9日14時）

暑熱リスク

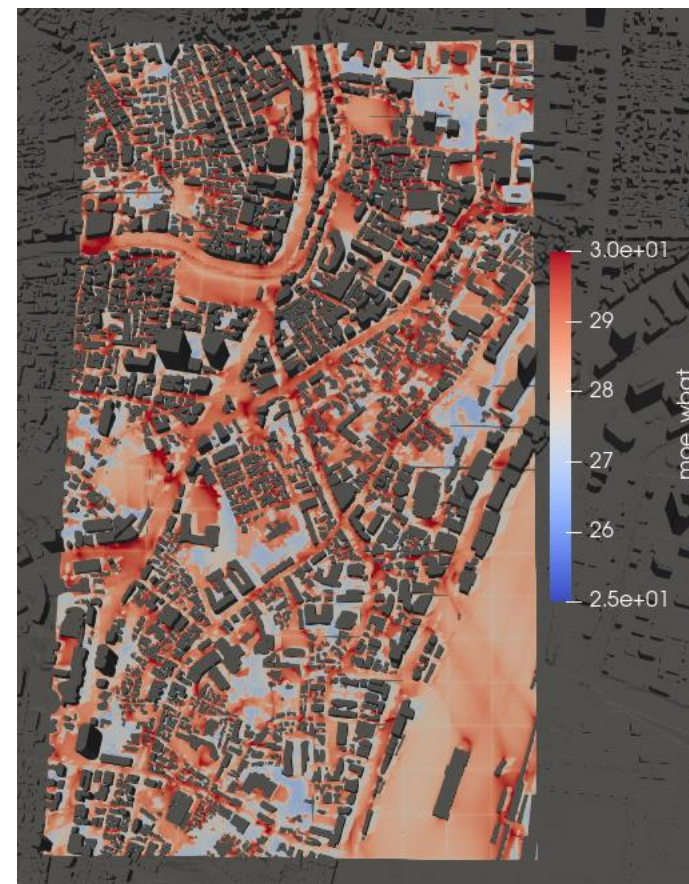
歩行者数（サブテーマ1）、暑さ指数（WBGT）の可視化を行うことで、暑熱対策立案に役立つ資料を提供



a) 建築土地利用



(b) 歩行者数



(c) 暑さ指数 (WBGT)

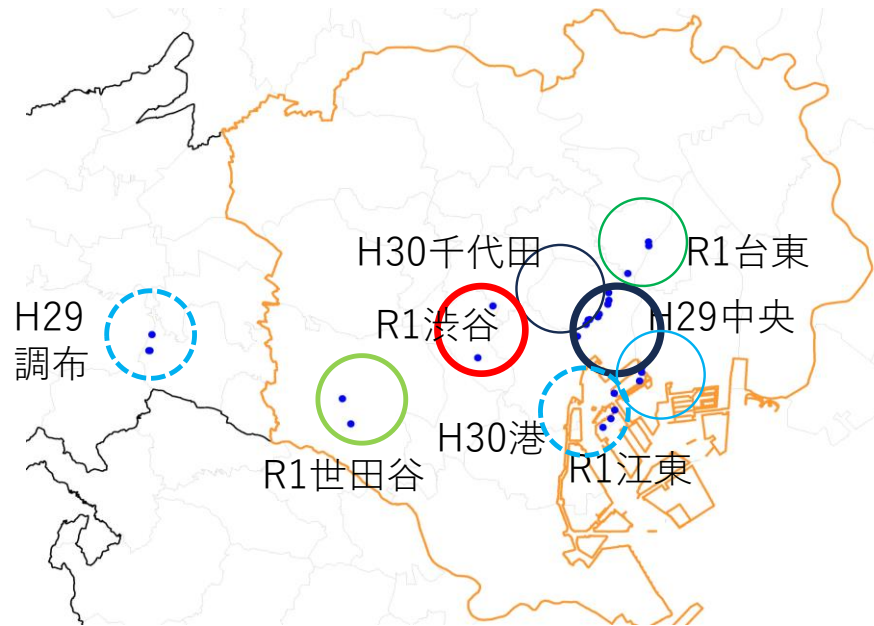
歩行者数と暑さ指数 (WBGT) の分布 (中心エリア、2019年8月9日14時)

環境施策への貢献

都の暑さ対策事業に温熱シミュレータを適用し、暑さ指数（WBGT）の研究情報を提供。暑さ対策事業の抽出と評価検討に際しては東京都環境局の協力を得て実施した。

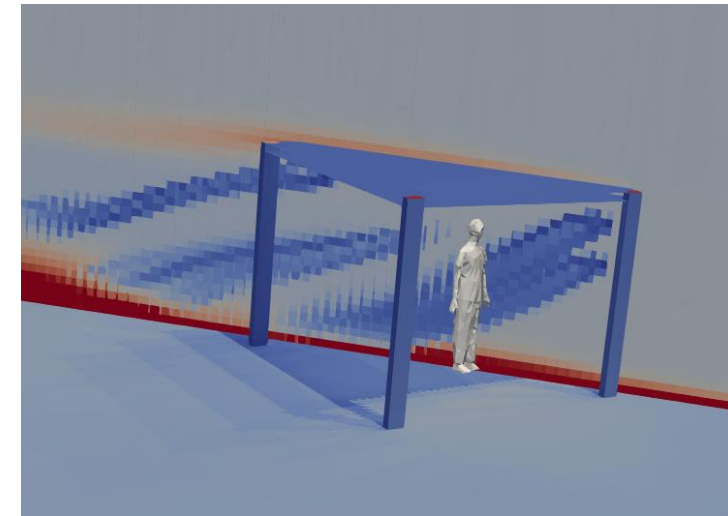
年、地域ごとに代表的な技術を抽出
(全8ケース)

温熱シミュレータによる事後検証
～暑さ指数（WBGT）、温湿度への影響～



都暑さ対策事業（H30～R1）

- 遮熱舗装
- 熱線反射フィルム
- あずまや・ミスト
- フラクタル日除け
- 樹冠下ミスト
- ミスト・パーゴラ
- バイオシェルター



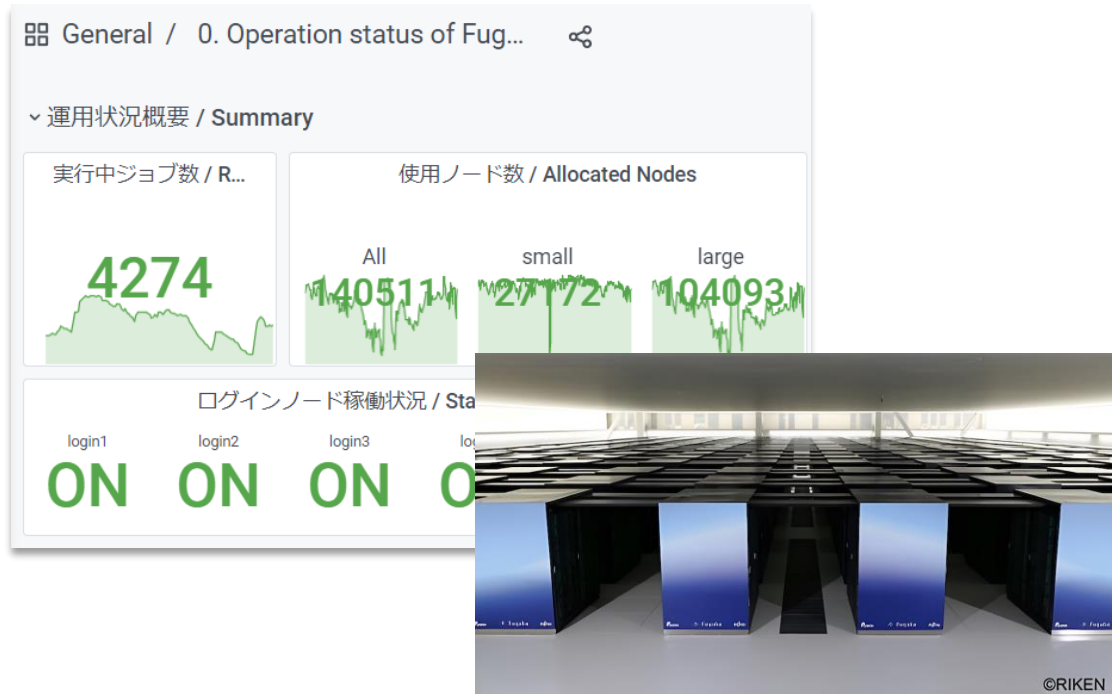
日除け、ミストの相乗効果により、暑さ指数（WBGT）が約1°C低下

暑熱対策の解析事例

温熱シミュレータによる東京都暑さ対策事業の評価概要

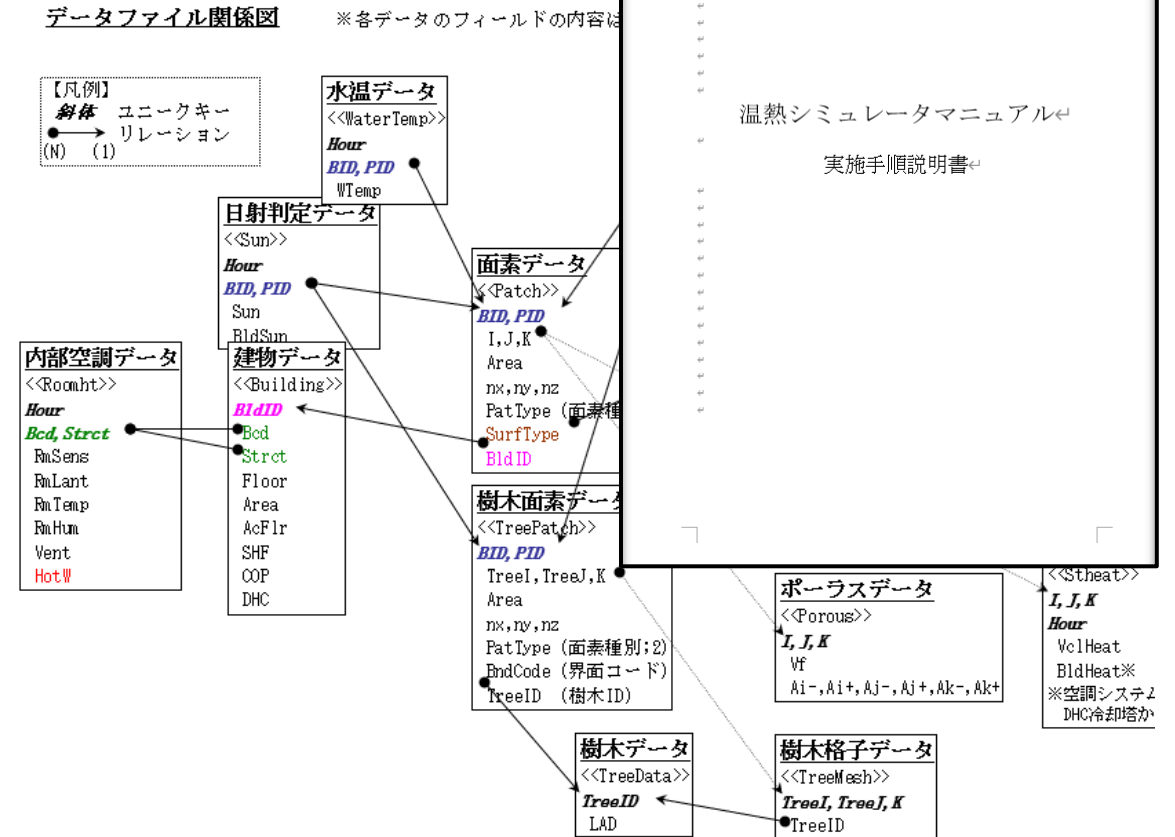
温熱シミュレータの周辺技術の整備

スパコン活用技術およびマニュアルの作成



富岳試行課題「都市空間を解像する温熱シミュレータの性能確認」の実施（2022.6～）

温熱シミュレータの演算性能の検討



マニュアルの作成（自治体向けの研究資料）

研究成果の達成状況

全体の達成状況

3. 目標通りの成果をあげた

「研究計画の内容の達成に加え、当初予定にはなかったスーパーコンピュータ富岳の活用により、都市の人と熱の状況を広域かつ精緻に把握することに成功した。また、本研究の開発技術を使って都の暑さ対策事業の定量的な評価を行っており、環境施策にも貢献できた。」

サブテーマ 1

3. 目標通りの成果をあげた

サブテーマ 2

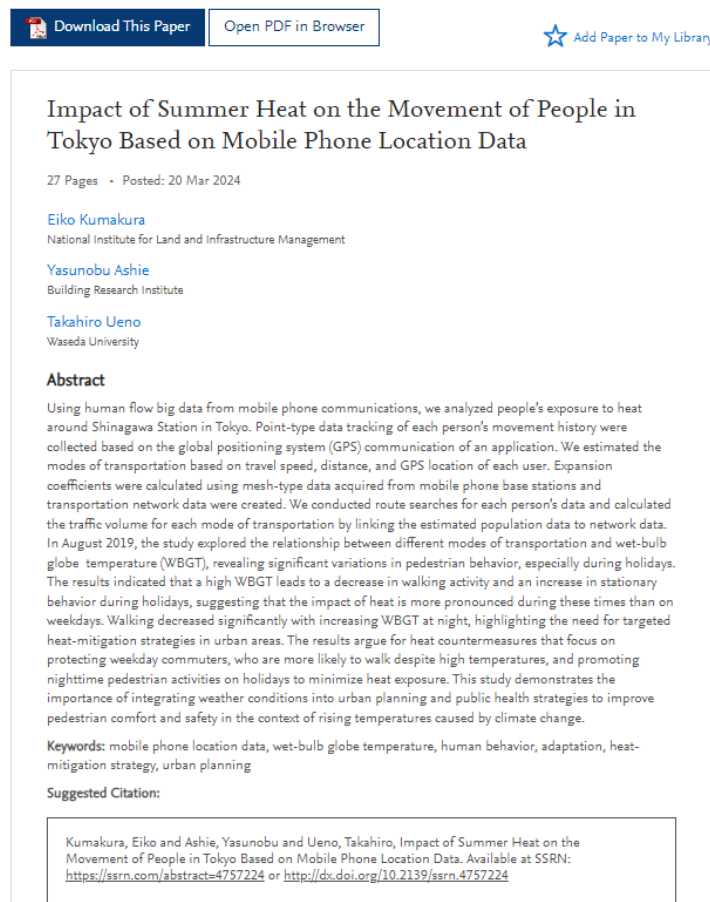
3. 目標通りの成果をあげた

研究成果の発表状況

- 査読論文3件
- 国際会議3件
- 講演等6件
- 国際ミーティング1件



自治体等への情報提供 (2022.2.10)
令和3年度気候変動適応研修 (中級コース)



国際誌への投稿
SSRNにて公開 (2024.3～)



国際会議 (メルボルン) での口頭発表 (2023.12)