

令和 4 年 6 月 2 日現在

機関番号：12701

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K22007

研究課題名（和文）サイバープラットフォーム上の人流データ解析によるエリア熱環境の客観的・複合的評価

研究課題名（英文）Objective and combined evaluation of area thermal environment by human flow data analysis on cyber platform

研究代表者

佐土原 聡（Sadohara, Satoru）

横浜国立大学・大学院都市イノベーション研究院・教授

研究者番号：90178799

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：「横浜みなとみらい21地区」を対象に研究を行い、人流の体系的な把握・分析、人流と温熱環境の相互関係解析に関する成果をまとめた。

エリアの人流を3スケールで把握・分析した。大スケールでは、携帯電話位置情報からエリアの各歩行空間の断面通行量を推定する手法を提案、中スケールでは一定空間においてレーザーセンシングからの歩行軌跡データで公共空間の利用状態を分類する手法を提案、小スケールでは局所的な人の「移動」「滞留」の把握・分析手法の検討を行った。

人流と温熱環境の関係については、温熱環境の違いが滞留や移動などの来訪者の空間利用に影響を与えていること、および熱環境改善の必要性が高い場所を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的には、今後導入・活用が進む先駆的な3D都市モデルを活用して、歩行空間ネットワークを組込んでGIS解析を行い、携帯電話位置情報からエリアの各歩行空間の断面通行量を推定する手法に目処をつけたこと、最新のセンシング技術による人流計測データを解析して、空間利用状態のタイプ分類を示すことができたこと、温熱環境の違いが人の空間利用にどの程度影響を与えているかを定量的に示したことに意義がある。

また社会的には、サイバー空間とフィジカル空間が高度に融合して新たな価値を創出する超スマート社会の実現に向けた研究の一例が具体化でき、専門分化してきた「知の統合」への第一歩の研究を実践したことに意義がある。

研究成果の概要（英文）： The research was conducted on "Yokohama Minatomirai 21 District", and the results of systematic understanding and analysis of human flow and mutual analysis of human flow and thermal environment were summarized.

We grasped and analyzed the flow of people in the area on three scales. On the large scale, we propose a method to estimate the cross-sectional traffic volume of each pedestrian space in the area from the mobile phone position information, and on the medium scale, we propose a method to classify the usage state of public space by the pedestrian trajectory data from laser sensing. Then, we examined the method of grasping and analyzing the "movement" and "retention" of people.

Regarding the relationship between the flow of people and the thermal environment, it was clarified that the thermal environment affects the space utilization of visitors such as movement and retention. We also clarified the places where there is a high need to improve the thermal environment.

研究分野：建築環境・設備

キーワード：3D都市モデル 歩行空間ネットワーク 横浜みなとみらい21地区 レーザーセンシング 携帯電話位置情報 歩行空間断面通行量 WBGT SET*

1. 研究開始当初の背景

日本学術会議は『「あるものの探求（認識科学）」から、人類が直面する深刻な問題の解決に資する「あるべきものの探求（設計科学）」を含めた科学体系の再構築が必要』^{文献①}であるとし、その再構築に向けて「知の統合」の推進委員会を設け、その方法論について提言をまとめた。その流れを受けて政府が策定した第5期科学技術基本計画（2016～2020年度）では、サイバー空間とフィジカル空間が高度に融合して新たな価値を創出する超スマート社会をめざしている。そして日本学術会議は『モデル化、シミュレーション、予測、意思決定、VRなどのヒューマンインターフェイスをサイバー空間に仮想的に展開し、様々な立場のメンバーが分散して利用可能な「知の統合プラットフォーム』^{文献②}の提案を紹介している。

2. 研究の目的

こうした背景から本研究では、都市づくり分野の「知の統合」の具体化に向けて、都市エリアを対象に「サイバー都市」を構築し、都市の人流に着目した研究を行う。人々の動きとその人々を取り巻くフィジカルな環境をセンシングし、結果である人流と環境のデータを「サイバー都市」に搭載し、それらの関係を分析することで、評価主体である人を客体化して、異なる分野が扱うフィジカルな環境要因を客観的・複合的に評価し、「知の統合」の具体化の第一歩とすることを目的とする。具体的対象として、グローバルな都市間競争の中で魅力的で質の高い空間が求められている大都市の都心エリアの公共空間を取り上げ、緑化、及び温熱環境デザインなどを中心とした視点からの客観的・複合的評価に取り組む。

3. 研究の方法

建築物、植樹等も含めた3D都市モデル（サイバー空間）を構築する。また、屋内外の空間において3D-LiDAR（レーザー）などを用いた人流計測を行い、その利用状態を把握・分析する。屋外については同時に温熱環境測定・シミュレーションを行い、詳細な解像度で温熱環境を把握する。ある空間における通行人数や人の滞留時間の偏りなどの人流測定から得られる数値が、人に好まれている空間、そうでない空間を示すと考え、人流データと温熱環境（放射、および大気熱環境）のパラメータ値との関係の分析結果を創出し、温熱環境に関わるフィジカルな環境に関する人の客観的・複合的な評価に関する成果の第一歩とする。実際のフィールドでのデータ収集・分析が必要なため、既にサイバー空間を構築中で研究協力依頼が可能な「横浜みなとみらい21地区」を対象とする。同地区は横浜市を牽引する中核拠点であり、都市間競争に対応した質の高い歩行空間を求めており、モデル性がある。

4. 研究成果

当初の計画では人流と温熱環境に関わる複数の要因との関係分析を行う目的で開始したが、人流をしっかりと把握した上で取り組む必要があると認識し、まずは人流の体系的な把握・分析を行うとともに、人流と温熱環境との関係分析を行い、成果をまとめた。

(1) 都市エリアのサイバー空間の構築

3D都市モデルに歩行空間ネットワークを組込み、任意の位置での天空、緑視、建物等の形態係数を算定する機能、サイバー空間上でレーザー人流測定データを可視化、携帯電話位置情報を分析するツールを開発した。

(2) 都市エリアの人流の体系的な把握・分析

人流と環境要因との関係分析による「知の統合化」に向けた基盤となる研究として、都市エリアの人流を「大」「中」「小」の3スケールで把握・分析することとし、以下の成果をまとめた。

①「大」スケールに関しては、エリア全体の人流把握のために、携帯電話位置情報からの歩行空間断面通行量の推定手法を研究した。携帯電話の位置情報ポイントを、歩行空間ネットワークの最も近いリンクに位置づけ、ArcGIS Proを用いて1分ごとの同一IDポイントを最短距離で結ぶ経路を求め、それを選択移動経路として任意地点の通過経路数を集計し歩行者数とした。そして、目視調査の30分間の歩行者数を目的変数、携帯電話の位置情報に基づく30分間の歩行者数を説明変数とする単回帰分析を、10カ所の目視調査地点に関して行った結果、相関係数の平均値は2021年11/23(祝日)が0.809、11/24(平日)が0.658と比較的高い相関が得られた(表1)。調査地点によって検出率(目視歩行者数に対する携帯電話検出数の割合)、相関係数などにばらつきが見られ、それらの要因の解明が課題であるが、エリア全体の歩行空間断面通行量の把握手法を示すことができた。

表1 目視調査の歩行者数と携帯電話位置情報による断面通行量の相関(n=10)

	2021年11月23日(祝日)				2021年11月24日(平日)			
	検出率=携帯電話検出数/目視歩行者数	回帰式		R(相関係数)	検出率=携帯電話検出数/目視歩行者数	回帰式		R(相関係数)
		傾き	切片			傾き	切片	
平均値	0.046	17.906	82.129	0.809	0.048	18.398	113.911	0.658
最大値	0.071	29.846	230.070	0.907	0.074	42.735	206.750	0.952
最小値	0.028	10.267	7.098	0.623	0.016	5.697	18.118	0.442
標準偏差	0.014	5.584	63.941	0.088	0.018	13.591	66.277	0.183

そして、目視調査の30分間の歩行者数を目的変数、携帯電話の位置情報に基づく30分間の歩行者数を説明変数とする単回帰分析を、10カ所の目視調査地点に関して行った結果、相関係数の平均値は2021年11/23(祝日)が0.809、11/24(平日)が0.658と比較的高い相関が得られた(表1)。調査地点によって検出率(目視歩行者数に対する携帯電話検出数の割合)、相関係数などにばらつきが見られ、それらの要因の解明が課題であるが、エリア全体の歩行空間断面通行量の把握手法を示すことができた。

②「中」スケールに関しては、一定の空間内の人の全体の状態を把握する方法を研究した。温熱環境が影響しない状況下での人の空間利用状態を明らかにする目的で、屋内の公共空間であるクイーンモール（概ね20m×50mの範囲）を対象に、レーザーによる歩行軌跡データ（2019年6月～8月に計測）に基づき公共空間の利用状態を分類し、未知の利用状態を識別する機械学習手法を提案した。1mメッシュをセルとして、平均速度、平均人数、平均的な進行方向の特徴値を各セルについて求めた。それらを使用状態を表す特徴ベクトルとみなし、主成分分析とx-means法の組み合わせによるクラスタリングによって利用状態「タイプ」に分類した。実データを用いた検証では、特定の日時に出現する16タイプが得られ、また、テストデータにはない「新たな利用状態」と判定できた。図1は、各タイプの利用状態を可視化したものである。

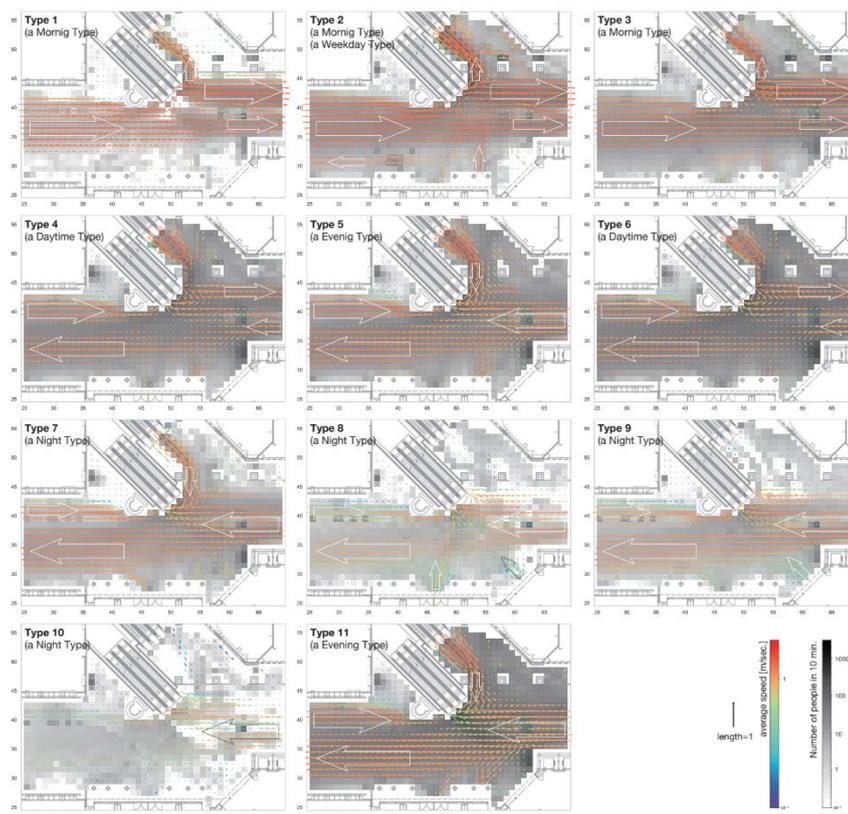


図1 公共空間の利用タイプの平均的な歩行者の流れの可視化(タイプ1～11)

③「小」スケールに関しては、人の滞留・賑わいづくりに関する実証実験を実施しながら、レーザーによる人流計測を行い、その歩行軌跡データを活用して、局所的な人の「移動」（速度0.5m/sを超える）、「滞留」（同0.5m/s以下）の状況把握・分析手法を検討した。実験は2021年4月にグランモール公園・ヨーヨー広場周辺を対象に、樹木の周囲の既存ベンチに加え、屋外での新しい働き方空間を生み出すデスクやドーム型テント等を設置して実施した。実験前後の人数、速度、滞在時間等の、曜日、時刻による違いを1mメッシュマップで可視化した結果、デスク、ベンチともに人の滞留を促進すること、デスクは目的をもって利用されやすく、ベンチは無目的にも利用されやすい等が推察された。

(3) 人流と温熱環境の関係解析

人流と温熱環境との関係に関しては、屋外のグランモール公園の歩行空間としてデザインされた中心部分(50m×90mの範囲)を対象に、「小」スケールで人流を把握し、以下の成果を得た。

①夏期と中間期（2019年7月～11月）に人の「滞留」に関してカメラ撮影による計測を、「移動」に関してレーザーによる計測を行った。温熱環境については体感温度指標WBGTを用いることとし、その算出に必要な温熱環境要素の計測を行った。結果として「滞留」に関しては、滞留人数・平均滞留時間はWBGTが20℃前後の9月に最も大きな値を示し、WBGTが12℃前後の11月や28℃前後の7月は小さな値を示した。「移動」に関しては、8月において2つの群に大きく分けられる5つのクラスターの結果が次のとおりであった。クラスターⅠ・Ⅱに該当する41%の人はWBGTの高い場所を移動し続け、クラスターⅢ・Ⅳ・Ⅴに該当する59%の人はWBGTが低い場所を移動、または滞留しつつ移動する特徴が見られた。中間期の10月はWBGTの違いが移動には影響していなかった。以上のように、温熱環境の違いが滞留や移動といった来訪者の空間利用に影響を与えていることが明らかになった。

②温熱環境改善の必要性が高い場所を抽出して対策に繋げるために、2019年9月に人流と温熱環境計測を行い、熱的快適性の指標である標準新有効温度（SET*）に人の利用状況の数値を掛け合わせたαSET*指標を新たに提案し、SET*を5m×5mのグリッド、利用状況を1m×1mのグリッドで整理し算出したαSET*数値図を作成し、熱環境改善の必要性が高い場所を明らかにした。

<引用文献>

- ① 日本学術会議 学術の在り方常置委員会：報告 新しい学術の在り方—真の Science for society を求めて—, 2005
- ② 日本学術会議 総合工学委員会 工学基盤における知の統合分科会：報告「知の統合」の人材育成と推進, 2017

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 益邑 明伸、佐土原 聡	4. 巻 87
2. 論文標題 歩行者軌跡データに基づく公共空間の利用状態の判別手法の提案	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本建築学会計画系論文集	6. 最初と最後の頁 476 ~ 486
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3130/aija.87.476	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 手塚勇太，村上暁信	4. 巻 84 (5)
2. 論文標題 移動観測によるつくば市中心地区の気温分布の把握と其の変化 の考察	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ランドスケープ研究	6. 最初と最後の頁 535-540
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 植田直樹，西谷麟，村上暁信	4. 巻 54-3
2. 論文標題 東京都心部における緑化に関する条例等の特徴に関する研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 都市計画論文集	6. 最初と最後の頁 359-366
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 劉旭，村上暁信	4. 巻 54-3
2. 論文標題 震災時の帰宅行動と熱環境上のリスクに関する研究 - もし311が発生したのが真夏だったら -	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 都市計画論文集	6. 最初と最後の頁 1066-1071
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計20件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 佐藤 裕一、佐土原 聡、谷 光清、丹羽 雄輔
2. 発表標題 地球環境未来都市研究 その61 DXプラットフォームの基盤となるGIS3D歩行空間ネットワーク・データセット
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 谷 光清、益邑 明伸、佐藤 裕一、佐土原 聡
2. 発表標題 地球環境未来都市研究 その62 人流軌跡データから解析する場の人の状態の判定手法の検討
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森比良 舞、佐土原 聡、吉田 聡、稲垣 景子、益邑 明伸
2. 発表標題 地球環境未来都市研究 その63 グランモール公園における利用実態の把握および利用者の行動特性に関する研究
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 楠本 幸司、佐土原 聡、吉田 聡、稲垣 景子
2. 発表標題 地球環境未来都市研究 その64 滞留活動から見た移動空間と体験空間の相互影響に関する研究
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 益邑 明伸、佐土原 聡
2. 発表標題 歩行者軌跡データに基づく公共空間の利用状態判別の試行 横浜みなとみらい 21 地区の公共空間における 2019 年・2020 年の実測データを利用して
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤 裕一、佐土原 聡、谷 光清、丹羽 雄輔
2. 発表標題 まちづくりDXプラットフォームプロトタイプとしての3D都市モデル・データ基盤の構築
3. 学会等名 地理情報システム学会第30回学術研究発表大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤裕一、佐土原聡、谷光清
2. 発表標題 地球環境未来都市研究 その57, エリアマネジメントのための基礎技術としてのマクロな人流の把握と解析
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐土原聡、谷光清、佐藤裕一
2. 発表標題 地球環境未来都市研究 その58, 屋内公共空間におけるミクروسケールの人流計測結果の解析
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 谷光清、佐土原聡、佐藤裕一
2. 発表標題 地球環境未来都市研究 その59, 屋外歩行空間におけるミクロスケールの人流計測結果の解析
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 関口綾華、浅輪貴史、佐土原聡
2. 発表標題 レーザーセンシングによる歩行者行動を加味した都市緑化空間の温熱環境評価
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Satoru Sadohara, Yuichi Sato, Mitsukiyo Tani
2. 発表標題 Architecture Design of Area Management Platform for Super Smart City (part)
3. 学会等名 Asian Institute of Urban Environment
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村上暁信, 竹田瑛里, 浅輪貴史, 宝蔵寺正隆, 熊谷兼人
2. 発表標題 都市のグリーンインフラとしての丸の内ストリートパーク
3. 学会等名 グリーンインフラ・ネットワーク・ジャパン
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐土原聡、佐藤裕一、谷光清
2. 発表標題 地球環境未来都市研究 その50 まちづくりCPS を実現する超スマート都市エリアマネジメントプラットフォームのアーキテクチャ
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤裕一、佐土原聡、谷光清
2. 発表標題 地球環境未来都市研究 その51 エリアマネジメントプラットフォームの基軸技術となる人流CPS サイクル
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 早川健司、佐土原聡、吉田聡、稲垣景子
2. 発表標題 地球環境未来都市研究 その55 人の歩行速度と日陰選択に及ぼす屋外温熱環境の影響に関する研究
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤裕一、佐土原聡、谷光清
2. 発表標題 超スマート都市エリアマネジメントプラットフォームの アーキテクチャデザイン
3. 学会等名 地理情報システム学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoru Sadohara, Yuichi Sato, Mitsukiyo Tani
2. 発表標題 Architecture Design of Area Management Platform for Super Smart City
3. 学会等名 Aisa Institute of Urban Environment
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉野優実子、浅輪貴史
2. 発表標題 熱画像によるオープンスペースの樹木の乾燥ストレス検知
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉野優実子、浅輪貴史
2. 発表標題 熱画像によるオープンスペースの樹木の水ストレス検知
3. 学会等名 日本ヒートアイランド学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中島遥希、村上暁信
2. 発表標題 屋外空間における温熱環境の違いが来訪者の空間利用に与える影響に関する研究
3. 学会等名 環境情報科学（ポスターセッション）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	村上 暁信 (Murakami Akinobu) (10313016)	筑波大学・システム情報系・教授 (12102)	
研究分担者	野原 卓 (Nohara Taku) (10361528)	横浜国立大学・大学院都市イノベーション研究院・准教授 (12701)	
研究分担者	浅輪 貴史 (Asawa Takashi) (50361796)	東京工業大学・環境・社会理工学院・准教授 (12608)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------