

IoT 環境センサを利用した街の 微気象推定手法の設計と実装

林 賢志^{1,a)} 高橋 大夢^{2,b)} 阿部 亨^{1,3,c)} 千葉 慎二^{2,d)} 菅沼 拓夫^{1,3,e)}

概要：IoT センサによって収集される気温、湿度などの環境情報は、安全で便利なまちづくりを目的とするエリアマネジメントでの活用が期待されている。エリアマネジメントに有用な情報として、実際の市民の生活に関係の深い、地表面から地上 1.5 m 程度の気象状況である「微気象」がある。しかし、一般的な IoT 環境センサは、特定の位置に固定的に設置されるため、設置されている地点のデータしか収集できず、エリア全体の微気象を詳細に把握することは困難である。本研究では、この課題の解決を目的として、固定型の環境センサに加えてモバイル型の環境センサを用い、さらに地理情報を効果的に統合することで、センサの存在しない場所も含めて街全体の微気象を推定する手法について検討している。本ポスター発表では、提案手法の基本設計と、今後の実験に向けて現在実装中のシステムについて紹介する。

1. はじめに

近年の IoT 技術の発展に伴い、小型で低価格なセンサデバイスやクラウド環境などの IoT 活用基盤が普及しつつある。これら IoT 活用基盤を利用して街の様々な場所のデータを収集・蓄積・分析し、安心で便利なまちづくりを目指すエリアマネジメントの高度化に役立てることが期待されている [1, 2]。エリアマネジメントでは、街中の詳細な気象情報や大気汚染情報、交通情報などの分析を行うことが求められる。特に、住民の生活に関係の深い、地表面から地上 1.5 m 程度の気象状況である「微気象」が注目されており、その詳細な把握による街での安全管理、都市計画への活用が期待されている [3]。具体的には、路面凍結予測による交通事故の対策、夏季のイベントなどにおける熱中症予防、暑さ対策のための設備設置計画等への利用が考えられる。

街での気象情報の活用方法は (1) 時間的な予測と (2) 空間的な推定の二種類に大別される。(1) は取得したセンサデータから将来の観測値を予測する手法で、(2) は街で複

数のセンサから取得した観測値を用い特定の範囲内の気象を推定するものである。本研究では、街全体の気象を詳細に把握する (2) の空間的な推定に焦点を当てる。

街の局所的な微気象を観測する方法は、街中に環境センサを配備し、データを収集することで可能となる。現在、一般的に配置されている環境センサの多くは固定的に設置されており、設置地点周辺の限定された範囲のデータしか収集できず、センサが設置されていない街の任意の場所を含めた町全体の詳細な微気象の把握は困難となっている。

一方、近年では様々な移動物体にセンサを取り付けてデータを収集する、モバイルセンシングの増加が期待されている [4, 5]。そこで本研究では、上記の課題の解決を目的として、固定型の環境センサに加えてモバイル型の環境センサを用い、さらに地理情報を効果的に統合することで、センサの存在しない場所も含めて街全体の微気象を詳細かつ高精度に推定する手法を検討している。

本ポスター発表では、提案手法の基本設計と、今後の実験に向けて現在実装中のシステムについて紹介する。

2. 関連研究

IoT 環境センサを用いた微気象の分析に関する先行研究として、[6, 7] がある。

Rathore ら [6] は都市計画のために微気象のモニタリングと活用を目的として、街に固定設置した環境センサから得られるデータを分析するフレームワークを提案している。このフレームワークでは、センサから取得された環境データを蓄積し、センサデータの取得地点の位置関係に基づき

¹ 東北大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Sciences, Tohoku University
² 仙台高等専門学校
National Institute of Technology, Sendai College
³ 東北大学サイバーサイエンスセンター
Cyberscience Center, Tohoku University
^{a)} hayashi@ci.cc.tohoku.ac.jp
^{b)} a1811517@sendai-nct.jp
^{c)} beto@tohoku.ac.jp
^{d)} chiba@sendai-nct.ac.jp
^{e)} suganuma@tohoku.ac.jp

分析することで、センサの存在しない地点の気温を推定している。また、高精度、低精度といった、センサの精度の違いを考慮したデータの分析手法の提案を行っている。しかし、固定センサのみを用いているため空間分解能が低く、また、地理情報を未考慮であるため、推定精度も十分ではないという課題が存在する。

一方、Ismail ら [7] は参加型センシングとして、スマートフォンに内蔵された環境センサを用い、移動時に収集したデータを分析し、熱中症の危険度を地図上に可視化するシステムを提案している。このシステムは移動した経路のみを対象としており、センサが存在しない場所の気温・湿度などの熱中症の条件は考慮されていない。また、収集したセンサデータは地点ごとの時間分解能が低く、測定精度に課題が存在する。可視化には各ルートの平均値を用いており、地点ごとの指標の精度にも課題がある。

これらの関連研究では、それぞれのセンサの利点を活用することが考慮されていない。また、微気象を構成する地形や建造物といった地理情報が未考慮という課題が存在する。

3. 微気象推定手法

3.1 概要

本研究では固定・モバイル環境センサのセンサデータと地理情報を統合した広範囲の微気象の推定手法を提案する。

現在、多くの環境センサは固定的に設置されており、設置コストや設置場所などの観点から多数配備することが困難である。これにより、固定センサの配置場所に偏りが生じることや特定の範囲内におけるセンサ数が少なくなり街全体の詳細な微気象の把握が困難になることが懸念される。そこで、街中で小型の環境センサを移動体に取り付けたモバイルセンサで、移動時の環境データを収集し、活用することでこれら課題に対応することが重要である。しかし、モバイルセンサは移動を伴う周辺環境での微気象の変化の影響を受け、センサの測定精度に誤差が発生することを考慮しなければならない。また、街中での参加型センシングによるデータの収集を行う場合、人の移動は不規則であることが想定され、この移動によるセンサ値の特性を考慮しなければならない。

固定型とモバイル型の環境センサの特徴を表 1 に示す。固定センサは同地点の環境情報を連続的に観測するため、時間分解能が高く、測定精度は高いが、観測地点のみのデータしか収集できないため空間分解能が低い。一方、モバイルセンサは同地点における観測回数が少なく時間分解能は低い、様々な地点のデータが収集可能であることから空間分解能は高いという特徴を持っている。

また、微気象の形成には建造物や、植生などのような周辺環境の位置関係や地表面の違いなどの条件が大きな影響を及ぼす [8,9]。つまり、街の微気象は、各地点における季

表 1: 各環境センサの特徴

	精度	時間分解能	空間分解能
固定センサ	高	高	低
モバイルセンサ	低	低	高

節、天気、時間帯などの動的要因と、その場所の地理条件、建造物、樹木などの静的要因などの地理的要因の影響を大きく受ける。また、建造物のある方向や建造物の高さ、緑地の有無などの地点ごとの類似している環境条件下においては、似たような微気象の状況が形成され则认为ることができる。よって、地理・建造物の情報は微気象の推定に利用可能であると考えられる。

本研究では、上記の微気象を構成する地理情報を考慮し、固定型環境センサとモバイル型環境センサの双方を活用した推定方法を提案する。また、これら環境センサの測定精度を考慮した都市微気象の推定精度の向上についても検討する。

微気象の推定は下記の 3 ステップで行う。

Step.1 地図情報を一辺 X m のグリッドに分割

Step.2 観測地点と推定地点の類似性の算出

Step.3 各センサの観測値と Step.2 の類似性からセンサ未設置エリアの値を推定

すなわち、地図情報をグリッドに分割した後に、観測地点と推定地点の類似性を算出する。この類似性を用い、取得したセンサ値からセンサ未設置エリアの値を求める。

3.2 観測地点と推定地点の類似性の算出

センサによって得られた観測値からセンサが存在しない地点の値の推定を行う。ここでは、推定地点と観測地点間における測定したセンサ値の類似性の考慮する。推定地点は分割した一辺 X m のグリッドの中心を代表点とし、その地点と観測地点との類似性を算出する。類似性の算出にはユークリッド距離を用い、距離として定量的に表現する。この類似性の算出には下記 2 つの条件を考慮する。

- 収集されたセンサデータと推定地点間の時空間特性
- 微気象を形成する地理的要因

類似性の算出に用いる要素の詳細を下記に示す。

3.2.1 時空間特性

モバイルセンサは変動する時間と場所でセンサデータを収集する。この観測地点と推定地点のとの関連性を考慮する。リアルタイムで現在の値を推定するに当たり、センサの観測値は現在時刻から時間的に近いほど、推定地点との類似性が高いと考えることができる。同様に空間的に距離が近い観測値ほど推定地点とのセンサ値の類似性が高いと考えることができる。これらの時空間特性を類似性の算出のための特徴として考慮する。

3.2.2 地理的要因

微気象の形成には周辺環境の建造物や植生などの位置関係、地表面の違いといった条件が大きな影響を及ぼす。よって、微気象の推定にはこれらの情報を考慮することが重要である。そこで、地図情報からこれらの位置関係（方位）を特定し、推定地点とセンサデータ取得地点の地理的な類似性を算出する。

3.3 センサ未設置エリアの値推定

上記の時空間特性と地理的要因によって算出された距離を用いて、センサの未設置エリアの微気象の推定を行う。微気象の推定には逆距離荷重法を用いる。逆距離荷重法は、地球科学や地理データを扱う際の一般的な空間内挿法の1つであり、距離の逆数を重みとした加重平均を取り推定を行う手法である。上記で各特徴を用いた類似性を距離として算出しており、この距離の逆数を重みとして用い、センサ未設置エリアの値を推定する。

逆距離荷重法の式を下記に示す。

$$z^*(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^N z(x_i)w_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (1)$$

ここで、 x_0 は推定位置を表し、 $x_i, i = 1, 2, \dots, N$ は測定位置を示す。推定値 $z^*(x_0)$ は、 N 地点の異なる場所の測定値 $z(x_i), i = 1, 2, \dots, N$ の加重平均を取り算出する。 $w_i = 1/d_{i0}$ は重み関数、 d_{i0} は推定位置と測定位置の間の類似性から算出したユークリッド距離である。

以上より、センサの時空間特性と地理的要因を考慮し、センサ未設置エリアの微気象を推定する。

3.4 推定値の信頼度

固定センサとモバイルセンサを用いた推定にあたり、モバイルセンサの測定誤差を考慮しなければならない。これに関しては、各センサの値に信頼度を設けることで対処する。モバイルセンサは街中を不規則に移動し、移動や停止などの動作を行うことを想定する。固定センサは測定精度が高いのに対し、モバイルセンサは移動しながらデータを収集するため測定精度が不安定である。すなわち、モバイルセンサは、同一地点に長時間滞在するほどセンサ値の信頼度は高く、また、移動速度が速いほどセンサ値の信頼度は低いと仮定する。また、固定センサは動かないため、センサの信頼度は最も高い状態であると考えられる。そこで、センサ値に移動を考慮した信頼度を割り当てることで推定値の信頼度を導出する。

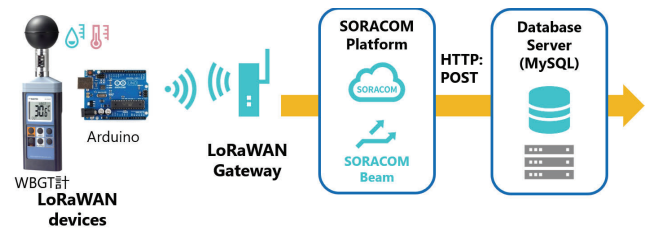


図 1: システム構成

4. 実装

4.1 暑さ指数

微気象の環境情報を扱う指標として、暑さ指数を用いる。暑さ指数は、酷暑環境下での行動に伴うリスク発生の度合を判断するために用いられる指標である。本稿では暑さ指数として、熱中症対策のための WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) を用いる [10]。WBGT を用いることで、地点ごとの熱中症の危険度レベルを特定することが可能である。熱中症の危険度は WBGT 値から危険、嚴重警戒、警戒、注意の大きく 4 つに分類される。これらの危険度ごとに対策方法は異なり、危険度に応じた適切な対応が求められる。

4.2 システム構成

センサデータ取得のために作成したシステム構成を図 1 に示す。このシステムにおける環境センサに必要な機能は下記の 3 つである。

- (1) 環境情報の取得（気温、湿度、黒球温度、WBGT 値など）
- (2) 位置情報の取得（GPS）
- (3) リアルタイムでのデータ通信機能

(1) は微気象に関連する気温、湿度などを含む環境情報の取得で、(2) は環境情報を取得した地点の位置情報の取得である。(3) は固定・モバイル環境センサから取得した (1)、(2) の情報をリアルタイムでプライベートクラウド内のデータベースサーバへ送信する機能である。その後、(3) でデータベースに蓄積された各種データを用いてデータの分析を行う。

4.2.1 環境センサの構成

本研究で用いるセンサで取得するデータは、環境情報（気温、湿度、黒球温度、WBGT 値）、位置情報（緯度、経度）の情報である。センサには熱中症対策計の SK150GT [11] を用いる。これは、日射などの輻射熱を考慮可能な黒球温度計が搭載された機器であり、黒球温度と乾球温度（気温）、相対湿度、WBGT 値を観測することが可能なハンディタイプのセンサである。また、屋外での位置情報の取得には GPS (Global Positioning System) を用い、緯度経度情報はそれぞれ 1 m の精度まで取得する。環境情報と位

置情報の取得やデータ伝送には小型のマイコンボードである Arduino [12] を用いる。

取得したセンサデータの伝送には LPWA (Low Power, Wide Area) の LoRaWAN を用いる。本研究では LoRaWAN は SORACOM のプラットフォームを介し使用する [13]。LoRaWAN は LPWA の無線通信規格の一つであり、低消費電力、長距離伝送、低データレートという特性を有する。収集した各種環境データは Arduino で収集した後に、LoRaWAN ゲートウェイにデータを送信する。ゲートウェイで受信したデータは 3G で SORACOM プラットフォームに送信され、SORACOM Beam を介し、データベースサーバ (MySQL) にデータを格納する。この LoRaWAN の使用に当たり、日本で運用する際には電波法の制約により、約 4.4s に 11byte でのデータ送信と制限される。上記で取得した、環境センサと GPS のデータの伝送のためにこれらデータを 11byte に割り当てる必要がある。取得した位置情報は緯度、経度をそれぞれ 1m の精度までのデータを、黒球温度、乾球温度、湿度はそれぞれ少数 1 桁までこの 11byte に割り当て送信する。取得した日時とデバイス ID は SORACOM プラットフォーム側で付与することで、データベースへ送信する。

4.2.2 データ分析

微気象の推定を行うデータ分析にはセンサデータを取得した日時とセンサ ID、各種環境データ、地理情報が必要である。時空間情報にはデータベースサーバに格納された日時と GPS の位置情報を正規化することで推定に用いる。地理・建造物情報はオープンデータの OpenStreetMap (OSM) [14] から取得を行う。OSM から取得可能なデータは建造物や公園といったオブジェクト情報と各オブジェクトの領域である。このオープンデータから地理的要因の建造物の情報を取得し、センサ未設置エリアの WBGT 値の推定を行う。

5. おわりに

本稿では、街の微気象を推定する手法として固定型とモバイル型の環境センサの特性を考慮し、地理情報を統合した手法を提案した。また、固定センサとモバイルセンサの移動による信頼度を考慮した推定精度の向上について検討した。

現在、基本設計に基づきシステムの実装を進めている。

現在の実装における地理情報は OSM から取得した建造物に関する情報のみであり、樹木などの植物は考慮していない。今後は、このような植物や地表条件も推定手法に加えるなどの実装を進める。さらに、推定に使用する特徴の選定や有効性の検証を行い、推定精度の高精度化を図る。加えて、推定手法の有効性の検証のために、今後の実験では大学のキャンパス周辺にセンサを配置し、提案手法による推定精度の定量的な評価を行う。

参考文献

- [1] 一般社団法人不動産協会 AI・IoT 等、新技術の活用とまちづくりのあり方, [Online]. Available: https://www.fdk.or.jp/f_suggestion/pdf/30_AI-IoT_chosa.pdf [Accessed: 4-Jan-2019]
- [2] 総務省 ICT 街づくり推進会議 スマートシティ検討 WG 第一次取りまとめの概要, [Online]. Available: http://www.soumu.go.jp/main_content/000467133.pdf [Accessed: 4-Jan-2019]
- [3] 環境省 まちなかの暑さ対策ガイドライン 改訂版, [Online]. Available: http://www.env.go.jp/air/life/heat_island/guidelineH30/gudelineH30_all.pdf [Accessed: 18-Aug-2019]
- [4] Medina, C. A., Perez, M. R., and Trujillo, L. C. IoT paradigm into the smart city vision: a survey. Proceedings - 2017 IEEE International Conference on Internet of Things, IEEE Green Computing and Communications, IEEE Cyber, Physical and Social Computing, IEEE Smart Data, IThings-GreenCom-CPSCom-SmartData 2017, 2018-Janua, 695-704. 2018.
- [5] Santos, J., Vanhove, T., Sebrechts, M., Dupont, T., Kerckhove, W., Braem, B., and De Turck, F. City of things: Enabling resource provisioning in smart cities. IEEE Communications Magazine, 56(7), 177-183. 2018.
- [6] Rathore, P., Rao, A. S., Rajasegarar, S., Vanz, E., Gubbi, J., and Palaniswami, M. Real-Time Urban Microclimate Analysis Using Internet of Things. IEEE Internet of Things Journal, 5(2), 500-511. 2018.
- [7] Ismail, M. and Z., Inoue, M. Map generation to detect heat stroke by using participatory sensing data. In 2018 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC) (pp. 1-4). IEEE. 2018.
- [8] 垣鏑 直. 微気候形成に及ぼす要因の分析に関する研究. 日本生気象学会雑誌, 49(1), 31-37. 2012.
- [9] Chatzidimitriou, A., and Yannas, S. Microclimate development in open urban spaces: The influence of form and materials. Energy and Buildings, 108, 156-174. 2015.
- [10] 中小建設業特別教育協会 暑さ指数 (WBGT 値) の活用, [Online]. Available: <https://www.tokubetu.or.jp/heatstroke/heatstroke03.html> [Accessed: 18-Aug-2019]
- [11] 佐藤計量器製作所 : SK-150GT, [Online], Available: https://www.sksato.co.jp/html/manual/files/manual_8310-00.pdf [Accessed: 18-Aug-2019]
- [12] Arduino, [Online], Available: <https://www.arduino.cc/> [Accessed: 18-Aug-2019]
- [13] SORACOM Air for LoRaWAN, [Online], Available: <https://soracom.jp/services/air/lora/> [Accessed: 18-Aug-2019]
- [14] OpenStreetMap, [Online]. Available: <https://www.openstreetmap.org> [Accessed: 26-Dec-2018]