

固定・モバイルセンサの併用による 街の微気象の推定手法に関する一考察

國見 亘^{†1} 富井 駿介^{†2} 伊藤 優樹^{†2} 阿部 亨^{†3,†2} 菅沼 拓夫^{†3,†2}

^{†1} 東北大学工学部電気情報理工学科 ^{†2} 東北大学大学院情報科学研究科
^{†3} 東北大学サイバーサイエンスセンター

1 はじめに

加速度的な都市化と気候変動は、高温現象などの気象異常を引き起こし、都市部におけるヒートアイランド現象の増大をもたらしている [1, 2]。これらの影響は、屋外での不快感や健康リスクの増大、エネルギー消費の増加など、複数の社会問題を引き起こしている [1]。これらの問題に対応するため、都市部の微気象条件を推定し予測することで、具体的な対策の策定に役立つ研究が進展している。ここで微気象とは、特定のエリアにおける人の活動に密接に関連する地表面近くの気象状態を指す。微気象推定のイメージを図 1 に示す。

微気象（温度）に影響を及ぼす要因として、湿度、日照、風速、地形などが挙げられるが [2]、これらの要因を正確に把握するためには、高解像度の空間データが不可欠である。先行研究では、固定センサとモバイルセンサの組み合わせによる高精度の測定に着目しているが [1]、推定精度にはまだ改善の余地があり [3]、また、温度以外の影響因子を十分に考慮できていない。

そこで本研究は、時空間的特性を反映した確率論的手法であるクリギング法を用いて、温度、湿度、照度といった複数のパラメータを組み合わせることで推定精度の改善を図る、新たな微気象推定手法を提案する。本稿では提案手法の基本設計について議論する。

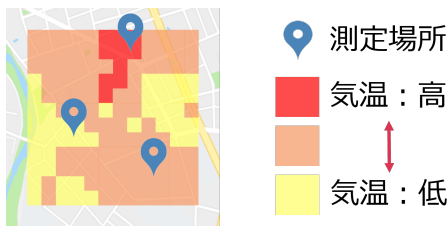


図 1: 微気象推定の概念図

2 関連研究

微気象推定アルゴリズムにおいては、ディープラーニングを用いた空間的推定の応用の研究がある [4]。この研究では、データの複雑なパターンを学習し、それを用いた空間的推定が可能となっている。特に、空間内の地形や時間上の性質などの特徴を柔軟にモデル化することが利点とされている。しかし、ディープラーニングの課題としては、学習のために比較的大量のデータが必要であり、街中にセンサーを高密度に設置するにはコストがかかるという点がある。

この問題に対して、固定センサとモバイルセンサの併用による測定が行われている [3]。図 2 のように、時間分解能が高い固定センサと、空間分解能が高いモバイルセンサを併用し、推定区域内の温度を測定している。

	時間分解能	空間分解能
固定センサ	高	低
モバイルセンサ	低	高

図 2: 固定センサとモバイルセンサの特徴

2 種類のセンサを用いることで少ないセンサ数で高い粒度の測定を可能にし、固定センサのみを用いた場合と比較して、推定精度の向上が見られる。この研究での推定アルゴリズムには、逆距離加重法が用いられており、時間と距離に対するユークリッド距離の逆数を重みとしている。逆距離加重法では、時間と空間の重みの減衰率が同じであることに加え、予め時空間特性を仮定していることにより、時間や空間にそれぞれの特徴を考慮した重みづけができないという課題がある。さらに、既存研究では主に温度を用いて推定を行っているが、微気象に影響を与えるパラメータには温度以外にも考えられるが、現状では、複数のパラメータを考慮できていないという課題もある。

3 提案

本研究では、固定センサとモバイルセンサを併用して温度、湿度、照度を測定し、時空間的データの特徴を活かしたクリギングによる微気象推定手法を提案する。

第一に、微気象に影響を及ぼす多様なパラメータ

A Study on Estimation Method of City Microclimate Using Combination of Fixed and Mobile Sensors

Wataru KUNIMI^{†1}, Shunsuke TOMII^{†2}, Yuki ITO^{†2}, Toru ABE^{†3,†2}, and Takuo SUGANUMA^{†3,†2}

^{†1}Department of Electrical, Information and Physics Engineering, Tohoku University

^{†2}Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

^{†3}Cyberscience Center, Tohoku University

の中で、湿度と照度を新たに考慮することで、従来の研究における推定精度の向上を目指す。特に、周辺環境を含む複数の影響因子が微気象に与える影響を考慮し、温度だけでなく湿度と照度も測定することにより、推定の精度向上を図る。また、固定センサとモバイルセンサを併用することで、センサを街の中に高粒度で配置せずに推定区域内を測定することができる。

第二に、時空間データの予測及び補間に広く用いられるクリギング法を応用し、各パラメータの時空間的変動に基づいた重み付けを行うことで、より精密な推定値を導出する。図3に示すように、パラメータごとの距離と重みの関係を適切にモデル化し、それに基づく重み付けが可能である。この手法では、ディープラーニングほど多くのデータを収集できないときに有効である。さらに、異なる変数間の空間的な相関を使用し、異なる変数間の空間的関係がどのように変化するかを定量的に評価することが可能である。

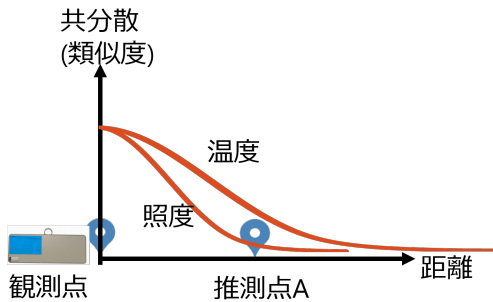


図3: 各パラメータにおける重みの変動

4 設計・実装

本提案における微気象推定のために必要な、湿度・照度・位置の測定のため、これらのセンサを搭載する新しいセンサデバイスを開発している。このデバイスはモバイルセンサとして使用することを想定し、バッテリーで駆動する軽量小型なデバイスである。また、キャリアモバイル回線の接続モジュールを搭載し、センサ単独でのリアルタイムなデータ送信を可能とする。

空間的なデータ推定には、クリギング法を適用しており、その推定式を式(1)に示す。

$$Z_{sck}(s_*, t_*) = \sum_{l=1}^N \sum_{k=1}^{n_l} \omega_k^{(l)} Z_k^{(l)} \quad (1)$$

ここで、 Z_{sck} は推定される量を表し、 s_* は地点、 t_* は特定の時点を示す。 $z_k^{(l)}$ は主変数であり、 $z_k^{(l)}$ は第 l 次の変数の k 番目の要素を指す。また、 N は確率変数の総数、 n_l は l 次変数の要素の総数を意味する。 $\omega_k^{(l)}$ はクリギング係数であり、既知の地点から未知の地点を推定する際の重みとして機能する。クリギング係数 $\omega_k^{(l)}$ は、既知点と推定点との共分

散関数に基づいて計算される。これらの係数と測定値の積和を計算することで、未知の値を推定することが可能である。

5 実験

本研究の測定実験は、東北大学青葉山キャンパス及びその周辺で実施する。実験装置は、2台の固定センサと1台のモバイルセンサを使用し、実験時間は1時間とする。固定センサはキャンパス内の予定された位置に設置され、モバイルセンサは人によって推定領域内を持ち運ばれる。実験の目的は、アルゴリズムとパラメータの両方の評価を行うことにある。この評価のため、1台の固定センサをテストデータとしての推定点に、固定センサとモバイルセンサ1台ずつの測定データをトレーニングデータとして用いる。

5.1 実験1：アルゴリズムの評価

実験1では、逆距離加重法と本研究で提案するクリギング法を用いて、テストデータに値をそれぞれ推定する。推定した値とテストデータとして測定した値を用いて平均絶対誤差と平均平方二乗誤差を計算し、推定精度の評価を行う。

5.2 実験2：パラメータの評価

実験2では、温度のみを用いた場合と、温度、湿度、照度の3つのパラメータを組み合わせた場合において、提案するクリギングアルゴリズムを用いてテストデータの値を推定する。その後、実験1と同様にして推定精度の評価を行う。

6 おわりに

本研究では、微気象推定精度の向上のため、微気象(温度)に影響のあるとされる湿度と照度をパラメータとして追加し、さらに、各パラメータごとの時空間的距離に対する重みを適切に決定するための推定アルゴリズムであるクリギングを用いることを提案した。今後はアルゴリズムの実装とセンサデバイスの開発を進め、評価実験を実施する。

参考文献

- [1] Croce, S. et al.: Fixed and Mobile Low-Cost Sensing Approaches for Microclimate Monitoring in Urban Areas: A Preliminary Study in the City of Bolzano (Italy), *Smart Cities*, Vol. 5, No. 1, pp. 54–70 (2022).
- [2] Ibsen, P. C. et al.: Urban landcover differentially drives day and nighttime air temperature across a semi-arid city, *Science of the Total Environment*, Vol. 829, p. 154589 (2022).
- [3] 林 賢志ほか: IoT 環境センサを利用した街の微気象の推定手法に関する一検討, 第81回全国大会講演論文集, Vol. 1, pp. 645–646 (2019).
- [4] Geng, X. et al.: Deep Learning and Self-powered Sensors Enabled Edge Computing Platform for Predicting Microclimate at Urban Blocks, *IEEE Sensors Journal* (2022).