

センサデータを利用した タウンマネージメントのための局所的気象予測手法

熊谷 健太^{1,a)} 内林 俊洋^{2,b)} 阿部 亨^{1,3,c)} 菅沼 拓夫^{1,3,d)}

概要 :

IoT 技術の進展に伴い、安全で便利なまちづくりを目指すタウンマネージメントにおいてセンサデータの活用が期待されている。タウンマネージメントのための情報として、街中の特定個所における気象条件の予測が重要である。一般的な気象予測として、気象庁の発表する天気予報は、広いエリアでの気象予測を扱っており、それから局所地点の詳細な予測を行うことは一般に困難である。本研究ではそれらの課題を解決するために、小型で扱いやすいセンサで獲得できるデータと、気象に関するオープンデータを効果的に統合し、局所地点の気温予測を行う手法を提案する。具体的には、著者らの研究グループで研究開発を進めている「iKaaS」に基づくデータ統合手法によって、効率的に局所的気象予測を行う手法について検討している。本稿では、iKaaS アーキテクチャの適用を前提とした、局所的気象予測のための予備実験について報告する。

キーワード : IoT, タウンマネージメント, 局所的気象予測, iKaaS

A Method of Weather Prediction on Local Area Using Sensor Data for Advanced Town Management

KENTA KUMAGAI^{1,a)} TOSHIHIRO UCHIBAYASHI^{2,b)} TORU ABE^{1,3,c)} TAKUO SUGANUMA^{1,3,d)}

Abstract:

With advances in IoT technology, sensor data utilization is expected in the town management for the safety and convenient community. The weather condition prediction in the specific area in a town is important as useful information for the town management. In general weather prediction, weather forecast from meteorological agency represents weather prediction in wide area, and it is difficult to get specific spot prediction from the weather forecast. In this work, we propose a method for a specific geographical spot weather prediction by effective integration of the data obtained from a small size sensor and open data about weather. Specifically, the method is being considered by data coordination based on the iKaaS to which research and development are being advanced by authors' research group. In this paper, we report on a preliminary experiment for the local weather prediction which premised on application of iKaaS architecture.

Keywords: IoT, Town Management, Weather Prediction on Local Area, iKaaS

¹ 東北大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Sciences, Tohoku University,
2-1-1 Katahira Aoba, Sendai, Miyagi 980-8577, Japan

² 東北大学電気通信研究所
Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University,
2-1-1 Katahira Aoba, Sendai, Miyagi 980-8577, Japan

³ 東北大学サイバーサイエンスセンター

Cyber Science Center, Tohoku University,
2-1-1 Katahira Aoba, Sendai, Miyagi 980-8577, Japan
a) k-kumagai@ci.cc.tohoku.ac.jp
b) uchibayashi@ci.cc.tohoku.ac.jp
c) beto@tohoku.ac.jp
d) suganuma@tohoku.ac.jp

1. はじめに

IoT 技術の進展に伴い、センサデータの活用による安全で便利なまちづくりを目指すタウンマネジメントの高度化が求められている。特に街中の特定エリアにおける気象情報、すなわち局所的気象予測は、安全管理やエネルギーマネジメントなどに活用することができるため、タウンマネジメントにおいては有用な情報である。

局所的気象予測を用いた安全管理の例としては、路面凍結への対策が挙げられる。冬季の路面凍結は交通事故の原因となっており、自治体等は事故防止のために融雪剤の散布などの対策を事前に行う場合がある。路面凍結が懸念される街中の特定の道路・歩道等の部分において、低気温が予測された際には事前に融雪剤の散布を行う事ができ、事故対策の効率化が図れる。また、エネルギーマネジメントの例としては、消費電力の予測に応じた発電・蓄電が挙げられる。電力自由化やスマートタウン、スマートハウスの普及に伴いエネルギーに関するタウンサービス [1] などの事業も活発化し、電力を中心としたエネルギーマネジメントはタウンマネジメントの中で重要な位置づけとなっている。冷暖房・照明等の利用は、気温だけでなく日射量、湿度、風力・風向など様々なローカルの気象条件と密接に関係しており、局所的気象予測を行うことによって電力の需要の予測精度向上へ寄与できると考えられる。

気象の予測としては、気象庁の発表する天気予報が考えられるが、一般に天気予報は広いエリアでの気象予測を扱っており、最寄りの気象台が提供する天気予報であったとしても、そこからごく局所的な気象状況を詳細に予測することは一般に困難である。一方で、タウンマネジメントにおける気象予測に際して、設置・メンテナンスの費用や人件費などのコストや、特別な気象センサ等の設置をする場合でも利用開始からどれだけの期間を経れば妥当な精度の予測が行えるかといった即効性は重要な観点である。低コストかつ短期間で気温予測が実現できれば、限られた資金と人員の中でも迅速かつ確かなタウンマネジメントが行えると考えられる。

そこで本研究では、それらの課題を解決し、タウンマネジメントへの活用を目指して、街中に設置された小型で扱いやすいセンサから得られる気象関係のセンサデータと、気象に関するオープンデータを効果的に統合し、センサ設置箇所周辺の局所的気象予測を行う手法を提案する。具体的には、著者らの研究グループで研究開発を進めている、知識に基づくセンサデータの効率的な利用のためのプラットフォームである iKaaS(intelligent Knowledge-as-a-Service)[2] に基づくデータ統合手法によって、効率的に局所的気象予測を行う手法について検討する。

本稿では、iKaaS アーキテクチャの適用を前提とした、

局所的気象予測のための知識獲得の予備実験について報告する。具体的には、1ヶ月間の気温推定を行う実地実験を実施し、天気予報の直接適用では大きな誤差が出ていた局所地点において、提案手法を用いた気温推定を用いることで精度を改善することが可能であることを示す。

2. 関連研究

関連研究として、ロンドンにおいて、ヒートアイランド現象による健康への影響・エネルギー需要の予測へ活用するための気温推定を行う研究 [3] がある。この研究では、ANN(Artificial Neural Network)を用いて、ロンドン内の複数の局所地点の気温予測を実施した。ANN では、推定を行う地点の気温とアスペクト比、地表の反射率、平面面積比、垂直面積比、緑地面積比、熱容量を用い、学習データとして、推定地点とは異なる気象ステーションで観測された気温、相対湿度、雲量、風速、日射量を利用して推定を行っている。

427 日分のデータを用いて学習が行われ、1999 年から 2007 年の 8 月から 10 月の期間で推定を行った。開発された ANN モデルを用いて行われた予測の平均相対誤差は 3.46 % で、結果の 90 % が妥当な誤差範囲内にあり、許容できる精度だと評価している。

この研究では、街中の局所地点における気温予測を高精度に実施できているが、予測を行うために反射能や、地表の反射率や緑地面積比等を測定するための局所地点の環境調査が必要になる。そのため、予算や人員、時間等の制約によってはこの手法の実施が難しくなるという課題がある。

3. iKaaS

著者らの研究グループは、総務省 SCOPE(国際連携型)の支援を受け、知識に基づくセンサデータの効率的な利用のためのプラットフォームを開発する iKaaS(intelligent Knowledge-as-a-Service) プロジェクトを進めている [2], [4], [5], [6]。iKaaS プロジェクトでは、日欧の ICT 関連企業と大学が連携し、ローカルクラウド上に保存された多種多様なデータを国を超えて流通させる高度知識集約的プラットフォーム (iKaaS プラットフォーム) を実現するために、プライバシーやセキュリティに配慮する機能や、知識に基づく IoT データ処理の基盤技術等を開発実証することを目的としている。

図 1 に、iKaaS のシステムアーキテクチャを示す。

iKaaS アーキテクチャは、アプリケーションからの直接のアクセス先である *Global Cloud* と、データの管理を行う組織ごとに設置され、センサからのデータを格納する *Local Cloud DB* を持つ *Local Cloud* に大別される。*Local Cloud DB* には、外部のセンサから *Store Functions* を経由してセンサデータが、またネット上で公開されている外部 DB や Web から *Data Conversion* を経由してオープンなデー

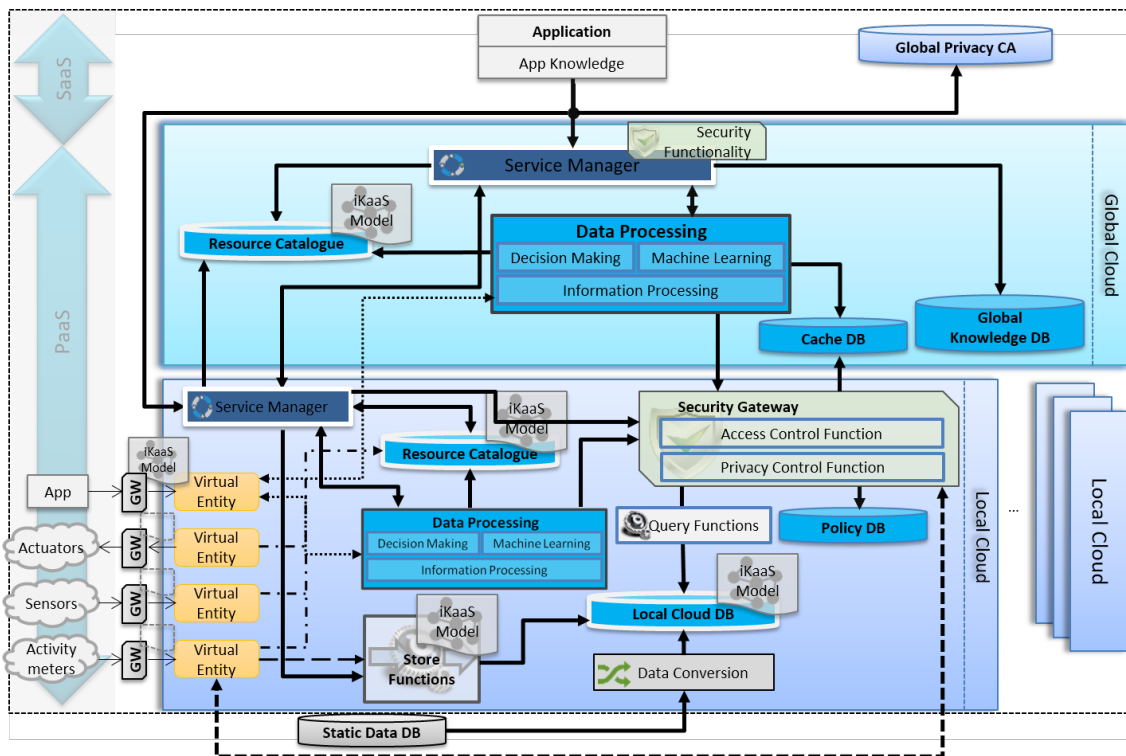


図 1 iKaaS プラットフォームのアーキテクチャ

タが、それぞれ格納される。Local Cloud DBへのアクセスは、アクセスコントロール機能やプライバシーコントロール機能を持った Security Gateway を介して行われ、安全性が確保される。また、ローカルなデータ処理、あるいは複数の Local Cloud と Global Cloud 内に Data Processing が置かれる。Data Processing によって解析された結果、生成された「知識」は、Local Cloud DB または Global Knowledge DB 内に格納され、その後の Data Processing の処理時に再利用される。

4. 局所的気象予測手法の提案

4.1 オープンデータの活用

天気予報サービスで提供される予測値は一般に広域の天気予報であるため、局所地点の気温の予測値としてはそのまま適用できない。しかし、適用できない場合でも近接する気象台での予測値は、局所地点の大まかな天気や気温推移を知ることができる。

気象に関するオープンデータとしては、気象庁で過去の気象データを公開しており [7]、気象庁の web ページから全国に設置されている気象台からの気象情報を入手することができる。入手できる気象情報は気象台によって異なるが、気温、降水量、日射量、降雪量、風速風向、湿度、気圧など多岐に渡っており、気象情報を活用するにあたって十分なものと考えられる。

これらのオープンデータは、iKaaS アーキテクチャにお

いては地域ごとに設置したひとつの Local Cloud によって管理することが想定される。

4.2 小型センサの活用

近年、netatmo ウェザーステーション [8] のようなワイヤレスで小型のセンサが普及している。こうしたセンサは比較的安価で入手でき、設置に際しても手間が少なく広い場所を必要としない。そのため、複数箇所にセンサを設置して活用を行うタウンマネジメントでの利用場面においては適していると考えられる。本研究は、気象予測を行う局所地点にこのような小型センサを設置する事を想定した設計を行う。

これらの局所的なセンサデータは、iKaaS アーキテクチャにおいては、主にセンサを設置した、センサ設置場所の街のタウンマネジメントを行う社団が設置する Local Cloud によって管理することが想定される。

4.3 気温推定手法

本研究では、広域の気温データと局所地点の気温データの関係性を利用した気温推定を行う。また、天気予報での気温の予測値にその関係性を当てはめる手法をとることで、長期間のデータの集積や環境調査といった負担を減らす試みを行う。広域の気温データは気象台の観測値と天気予報の予報値を用い、気象台の観測値は過去のデータとして、天気予報の予報値は未来のデータとして参照する。広域の気温データと局所地点は気温の差をとり、その値を 2

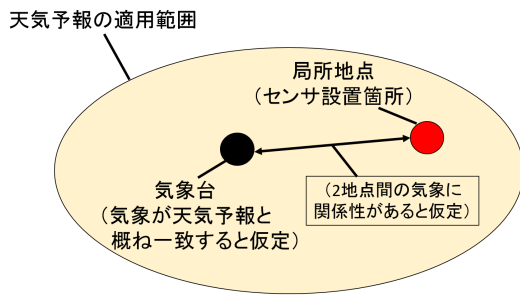


図 2 提案手法における情報源の位置関係

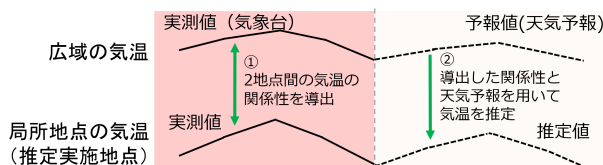


図 3 気温推定の提案手法のイメージ

地点間の気温の関係性として天気予報に適用する事で気温推定を行う。気象台、局所地点、天気予報の適用範囲のイメージを図2に示す。

この2地点間の気温の関係性は、ローカルで適用可能な「知識」と考えられ、iKaaSアーキテクチャにおいては、Local Cloudによって管理され、実際の推定プロセスの時にData Processingモジュールから呼び出されて再利用される。また、どの2地点間の気温の関係性を利用するか、についても「知識」と考えられる。すなわち、所望の推定を行う際に、どのLocal Cloudからデータを得ると精度が高くなるかについては、問い合わせを行うLocal Cloudの選択に依存する。この知識についてはGlobal Cloudによって管理され、アプリケーションからの要求が発生した際に最初に再利用される。

本研究において、気温推定を行う手法のイメージを図3に示す。

気象台の気温と局所地点の気温には関係性があると仮定し、その関係性を2地点間の気温差で表現すると、

$$(2 \text{ 地点間の気温差}) = (\text{局所地点で観測された気温}) - (\text{気象台で観測された気温})$$

と表せる。また、天気予報は気象台の天気を高精度で予測できると仮定すると、天気予報として提供される情報は、

$$(\text{天気予報での気温の予報値}) = (\text{気象台で観測される気温})$$

と表せる。そのため、過去のデータから得られた2地点間の気温差を推定に適用する式として、

$$(2 \text{ 地点間の気温差}) = (\text{局所地点の推定気温}) - (\text{天気予報での気温の予報値})$$

すなわち、

$$(\text{局所地点の推定気温}) = (\text{天気予報での気温の予報値}) + (2 \text{ 地点間の気温差})$$

とする事で局所地点の推定気温が得られると考える。

また、気象台と局所地点間の気温差は時間帯によって異なると考えられるため、2地点間の気温差は過去の同時刻の値のみを参照する事とする。

5. 実装

本章はタウンマネジメントへ活用するための気象予測、とりわけ、タウンマネジメントに関係が深く、天気予報の直接適用が困難な「気温」の推定手法について述べる。本研究では、宮城県仙台市田子西地区をモデルタウンとし、仙台市田子西地区内に設置したセンサの温度推定を実施する。

ここでは、本実装で利用する情報について述べる。気象台で観測される気温は、アメダス仙台観測所で観測された気温を利用する。アメダスからは小数第一位までの気温データが1時間単位で入手する事が可能である。天気予報は気象庁から提供される宮城県東部の地域時系列予報を利用する。予報からは整数値の気温の予報値を3時間単位で入手することが可能である。局所地点の気温としては、宮城県仙台市田子西地区に設置した環境センサ (Libelium Smart Agriculture[9]) を利用する。センサからは小数第二位までの気温を約20分単位で入手することが可能である。

これらの情報源の位置関係を図4に示す。アメダス仙台観測所、環境センサ設置箇所間の距離は5.8kmであり、この2つは設置地点の局所的な環境情報を測定している。また、天気予報の「宮城県東部」は図5に示す区域を範囲的に扱う表記である。図5における黒丸はアメダス仙台観測所と環境センサ設置箇所を示す。

6. 予備実験

6.1 実験環境

予備実験として、宮城県東部の天気予報での気温の予報値とアメダス仙台観測所での温度実測値、仙台市田子西地区の環境センサの温度実測値の比較を行った。期間は2016年8月1日から8月31日までとし、各日の0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21時のデータを利用した。

比較の一例として、8月12日から8月16日の5日間の



図 4 アメダス仙台観測所と仙台市田子西地区上のセンサ設置箇所の位置関係

天気予報と実測値のグラフを図6に示す。宮城県東部の予報値とアメダス仙台観測所での観測値は、概ね追従している。しかし、宮城県東部の予報値と田子西地区設置センサでの観測値を比較すると、特に最高気温・最低気温の時間帯で気温差が大きくなっている。

8月1日から8月31日までの気温差の二乗平均平方根誤差を算出すると、宮城東部の予報値とアメダス仙台観測所の観測値間では1.28、宮城東部の予報値と田子西地区設置センサの観測値間では2.94となった。

予備実験における時間別の二乗平均平方根誤差の値を表1に示す。どちらの場合でも気温が高くなる9時から15時の時間帯での誤差が大きく、また、気温が低くなる3時も前後の時間帯と比較して誤差が大きかった。

表1 天気予報を直接参照した場合の二乗平均平方根誤差（時間別）

	予報-アメダス仙台間	予報-田子西センサ間
0時	0.99	1.39
3時	1.36	1.76
6時	0.98	1.24
9時	1.26	2.40
12時	1.79	4.26
15時	1.82	6.14
18時	0.72	1.00
21時	0.88	1.00

6.2 2地点間の気温差と天気予報を用いた気温推定

実験として、仙台市田子西地区の2016年8月1日から8月31日の一ヶ月間の気温推定を行った。

6.2.1 入力情報

気温推定のための入力情報として、以下の情報を利用した。

- アメダス仙台観測所で観測された直近30日の気温の実測値

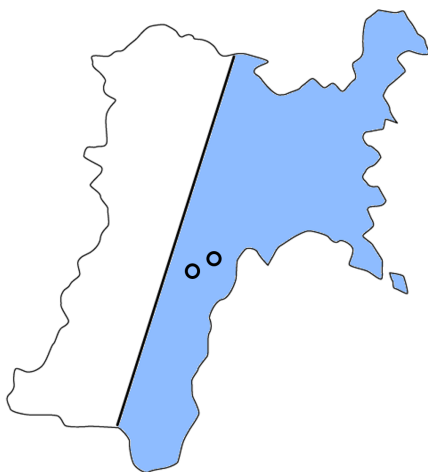


図5 仙台市東部の天気予報適用範囲とアメダス、センサ設置箇所の位置

- 仙台市田子西地区の環境センサで観測された直近30日の気温の実測値
- 宮城県東部の天気予報での24時間先までの気温の予報値

アメダス仙台観測所と田子西地区の環境センサで観測された気温の差の参照は時間帯別に行う。例えば、8月1日の0時の気温予測の際には7月2日の0時、7月3日の0時、……、7月31日の0時までの2地点間の気温差を利用する。8月15日の12時の気温予測の際には、7月16日の12時、7月17日の12時、……、8月14日の12時の2地点間の気温差を利用する、といったものになる。また、これらの実測値に関しては、直近30日間だけではなく、直近15日間、7日間の値を利用した実験も行い、得られる精度の比較を行う。

また、天気予報は原則として毎日17時に取得した、その日の18・21時、翌日の0・3・6・9・12・15時の予報値を利用する。

6.2.2 出力情報

出力情報は、仙台市田子西地区のセンサ設置箇所における気温の推定結果とする。17時に発表された天気予報の情報を基にその日の18・21時、翌日の0・3・6・9・12・15時の推定結果を出力するため、1時間先から21時間先の気温推定を行う事になる。

6.3 結果と考察

結果の一例として、8月12日から8月16日までの田子西地区設置センサの実測値、過去30日のデータを利用した推定値、過去15日のデータを利用した推定値、過去7日のデータを利用した推定値を図7に示す。

それぞれの場合について、田子西地区での気温の推定値と実測値の二乗平均平方根誤差を算出した。二乗平均平方根誤差の値は、過去30日分のデータを参照した場合には2.03、過去15日分のデータを参照した場合には1.98、過去7日分のデータを参照した場合には1.91であった。時間別の二乗平均平方根誤差を表2に示す。参照日数がどの場合であっても、12時と15時の場合の誤差が突出して大きく、続いて3時での誤差が大きい事が分かった。

表2 提案手法での推定による実測値との二乗平均平方根誤差（時間別）

	30日分	15日分	7日分
0時	1.22	1.17	1.22
3時	1.57	1.52	1.42
6時	1.32	1.28	1.21
9時	1.41	1.43	1.38
12時	2.45	2.45	2.34
15時	4.21	4.07	3.93
18時	1.00	0.92	0.93
21時	0.97	0.93	0.97

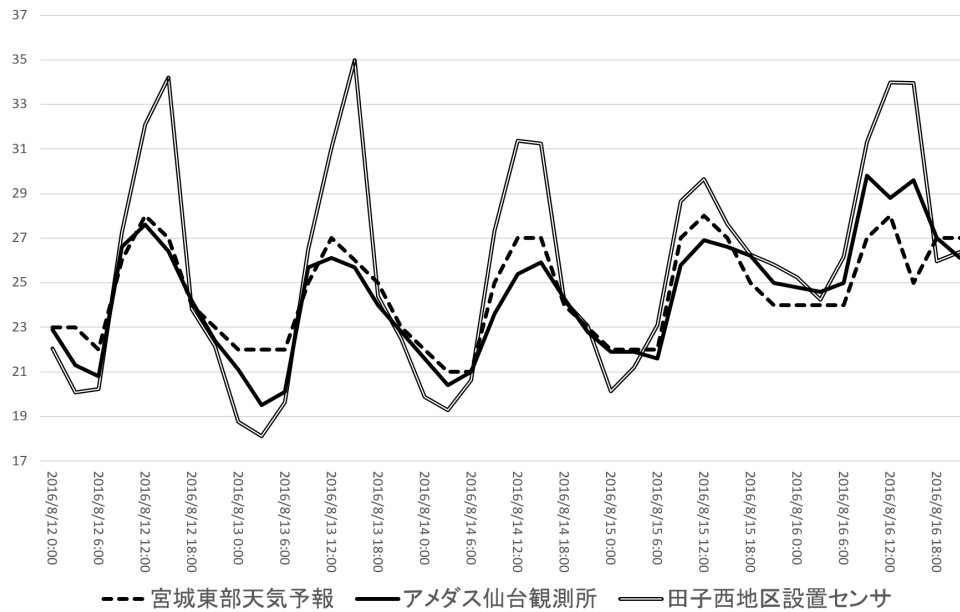


図 6 宮城県東部の天気予報とアメダス、田子西地区設置センサの観測値との比較

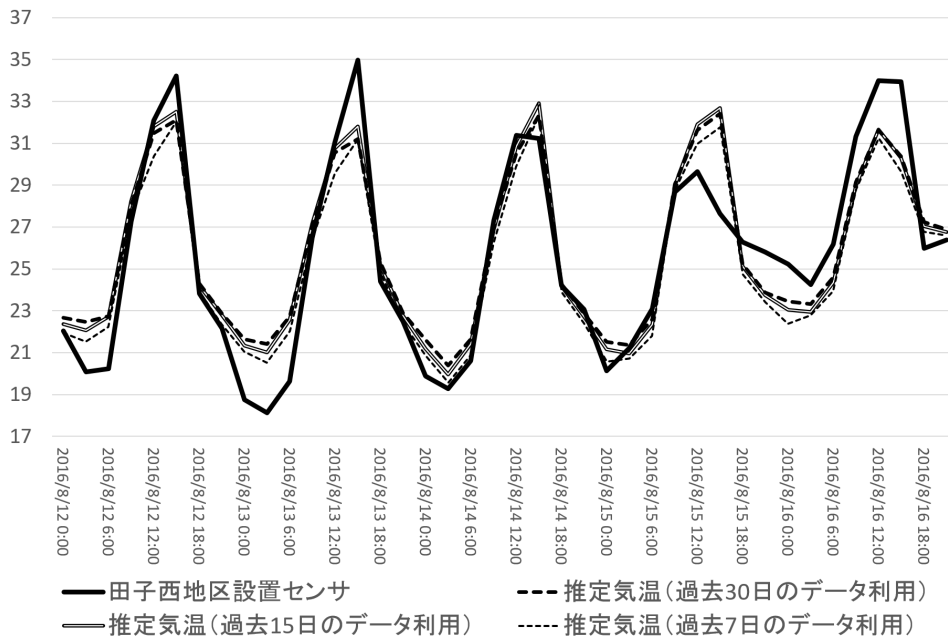


図 7 提案手法での気温推定における実測値との比較

推定精度は、参照データを過去7日分だけに止めた方がよい結果となった。一般的には、こうした予測は参照するデータが多いほど精度が上がる傾向にあるが、今回は僅かながら逆の傾向が出た事になる。

2地点間の気温差は季節の影響によって異なる可能性があり、今回の傾向はその影響を受けているという可能性があると考えられる。本手法では推定実施日から遡った日付のデータを参照するため、参照するデータが多いほど前の季節の影響を受ける事になる。例えば、今回は夏季の状況における気温推定を行ったが、参照するデータの日付を遡るほど、春に近い時期のデータを利用する事になる。それ

により、今回のような参照データの量と誤差の関係が生じたと考察することができる。

7. おわりに

本論文は、iKaaSでの利活用を想定し、タウンマネジメントに活用するための気温予測手法として、アメダスと天気予報のオープンデータとセンサを利用した手法を提案した。また、その提案に基づいて実装を行い、宮城県東部の天気予報、アメダス仙台観測所、仙台市田子西地区に設置したセンサのデータを利用して仙台市田子西地区の気温推定の実験・評価を行った。予備実験として行った宮城県

東部の気温の予報値とアメダス仙台観測所の観測値の二乗平均平方根誤差は 1.28, 宮城県東部の気温の予報値と田子西地区のセンサの気温実測値の二乗平均平方根誤差は 2.94 であった。それに対し, 推定実施日の過去 7 日間, 15 日間, 30 日間のデータを参照して行った田子西地区の気温推定では, 二乗平均平方根誤差が 1.91 から 2.03 という結果が得られ, 宮城県東部の天気予報を田子西地区に直接適用するよりも高い精度での予測が行えた。また, こうした精度を得るために参照したデータは, オープンデータに加えて過去 7 日間から 30 日間のセンサデータであり, センサ設置から短期間で気温推定を実施できるようにするという要件も達成できたと考えられる。

提案手法での気温推定によって, 天気予報の直接適用よりも誤差は改善された。しかし, 最高気温・最低気温となる時間において誤差が大きという課題は残っている。

今回提案した手法では, 入力情報を気温のみに絞って推定を行った。しかし, 気温の推移には他の気象要素も大きく関わっている。研究 [3] での学習において利用された降水量, 日射量, 降雪量, 風速風向, 湿度, 気圧といった情報の中から, 小型センサやオープンデータを用いて扱える要素を取り入れ, それらのデータを用いた補正を行う事で精度の改善を図っていく。

また, 今回の実験ではアメダス仙台観測所, 仙台市田子西地区に設置したセンサのデータを利用したが, その 2 地点間の距離は 5.8km と, 比較的近距离に位置している。そのため, 気象台と推定を行う局所地点の距離が離れている場合でも本手法が十分に有効であるかを確かめる実験も併せて行う必要がある。

今後は, 以上の方式改良や追加実験によって得られた知識を iKaaS プラットフォームに組み込むことによって, より汎用的かつ高精度な局所的気象予測のシステムを構築する。

謝辞 本研究の一部は, 総務省 SCOPE 国際連携型「プライバシーに配慮した情報提供を可能にする高度知識集約プラットフォームの研究開発」の援助を受けて実施した。

参考文献

- [1] エネルギー | タウンサービス | Fujisawa SST (藤沢サステイナブル・スマートタウン),
入手先 <http://fujisawasst.com/JP/service/energy.html>
- [2] iKaaS Website, <http://ikaas.com/>
- [3] Kolokotroni, Maria, Y. Zhang, and Renganathan Giridharan. "Heating and cooling degree day prediction within the London urban heat island area." *Building Services Engineering Research and Technology* 30.3 (2009): 183-202.
- [4] Yashuchika Fujiwara, Keiji Yamada, Kenichi Tabata, Michio Oda, Kazuo Hashimoto, Takuo Suganuma, Abdur Rahim, Panagiotis Vlachas, Vera Stavroulaki, Dimitrios Kelaidonis and Andreas Georgakopoulos, "Context

- Aware Services: A Novel Trend in IoT Based Research in Smart City Project," Proc. of the 2nd IEEE International Workshop on Big Data Management for the Internet of Things (BIOI2015, COMPSAC2015 Workshop), pp.479-480 (July 2015). (invited talk)
- [5] Yuichi Hashi, Kazuyoshi Matsumoto, Yoshinori Seki, Masahiro Hiji, Toru Abe and Takuo Suganuma, "Design and Implementation of Data Management Scheme to Enable Efficient Analysis of Sensing Data," Prof. of the 3rd International Workshop on Self-Aware Internet of Things (Self-IoT2015, ICAC2015), pp.319-324 (July 2015).
- [6] Kazuo Hashimoto, Keiji Yamada, Kenichi Tabata, Michio Oda, Takuo Suganuma, Abdur Rahim, Panagiotis Vlachas, Vera Stavroulaki, Dimitrios Kelaidonis and Andreas Georgakopoulos, "iKaaS Data Modeling: A Data Model for Community Services and Environment Monitoring in Smart City," Prof. of the 3rd International Workshop on Self-Aware Internet of Things (Self-IoT2015, ICAC2015), pp.301-306 (July 2015).
- [7] 気象庁—過去の気象データ・ダウンロード,
入手先 <http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>
- [8] Netatmo Weather — Weather Station - Rain and Wind Gauge,
入手先 <https://www.netatmo.com/product/weather/>
- [9] Libelium - Connecting Sensors to the Cloud,
入手先 <http://www.libelium.com/>