

建築分野における技術開発等に利用する
基礎的な気象データの構築

Construction of Basic Meteorological Data Used for
Technological Development in Architectural Field

飯泉 元気¹⁾、谷口 円²⁾、阿部 佑平³⁾、堤 拓哉⁴⁾ 月館 司⁵⁾
Genki.Iizumi¹⁾, Madoka.Taniguchi²⁾, Yuhei.Abe³⁾, Takuya.Tsutsumi⁴⁾, Tsukasa Tsukidate⁵⁾

地方独立行政法人北海道立総合研究機構
建築研究本部
北方建築総合研究所

Northern Regional Building Research Institute

Building Research Department

Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization

¹⁾ 建築研究部建築システムグループ研究職員 ²⁾ 同主幹 ³⁾ 地域研究部地域システムグループ 研究主任 ⁴⁾ 同主幹 ⁵⁾ 地域研究部環境防災グループ専門研究員

¹⁾ Researcher of Building Engineering System Group ²⁾ Senior Research Manager of Building Engineering System Group ³⁾ Researcher of Regional System Group ⁴⁾ Senior Research Manager of Regional System Group ⁵⁾ Researcher of Prevention and Environment Group

概要 Abstract

建築分野における技術開発等に利用する基礎的な気象データの構築 Construction of Basic Meteorological Data Used for Technological Development in Architectural Field

飯泉 元気¹⁾、谷口 円²⁾、阿部 佑平³⁾、堤 拓哉⁴⁾ 月館 司⁵⁾
Genki.Iizumi¹⁾, Madoka.Taniguchi²⁾, Yuhei.Abe³⁾, Takuya.Tsutsumi⁴⁾, Tsukasa Tsukidate⁵⁾

キーワード : 気象データ、気候区分、技術開発、微気候、空間補間

Keywords : *Meteorological data, Climate classification, Technology development, Microclimate, Spatial interpolation*

1. 研究概要

1) 研究の背景

- ・道内の積雪寒冷に対応した建築設計、建築技術の開発及びまちづくりにおいては、気候特性を十分に考慮する必要がある。
- ・例えば、建物の熱負荷計算を行うためには、時々刻々の外気温や日射量などの気象データが必要となる。一方で、積雪を考慮した建物の配置計画を行うためには、降雪時の卓越風向が必要となるなど、目的用途に応じて必要なデータの細かさの種類が異なる。
- ・現状、一般に利用可能な気象データとして、気象庁が公開しているアメダス気象データがある。しかし、アメダス気象データの観測点は市街地に多く、郊外には少ないといった偏りがある。また、観測点ごとに測定項目が異なり、全ての地点で共通のデータが整備されていない。
- ・これらのことから、全道を網羅した基礎的な気象データの整備が求められている。

2) 研究の目的

道内の気候特性を考慮した建築設計、建築技術の開発、及びまちづくり等に活用される全道を網羅した基礎的な気象データを構築する。

2. 研究内容

1) 既存の気象データの調査・整理 (H30年度)

- ・ねらい：気象庁や地方自治体などが測定している北海道内の気象データを調査・整理する。
- ・試験項目等：文献調査、既設の気象観測点の調査、データ整理

2) 近隣の気象データに基づく補間手法に関する検討 (H30～31年度)

- ・ねらい：観測データのない地点における気象データを近隣の気象データから補間する手法を検討・提案する。
- ・試験項目等：文献調査、気象データ補間式の提案

3) 気象データの構築 (H30～R2年度)

- ・ねらい：提案した補間手法を用い、観測データのない地点における気象データを算出する。

¹⁾ 北方建築総合研究所建築研究部建築システムグループ研究職員 ²⁾ 同研究主幹 ³⁾ 地域研究部地域システムグループ 研究主任 ⁴⁾ 同研究主幹 ⁵⁾ 地域研究部環境防災グループ専門研究員

¹⁾ Researcher of Building Engineering System Group ²⁾ Senior Research Manager of Building Engineering System Group ³⁾ Researcher of Regional System Group ⁴⁾ Senior Research Manager of Regional System Group ⁵⁾ Researcher of Prevention and Environment Group

- ・試験項目等：気象データの算出、データ整理

4) 目的・用途に応じた地域区分の提案 (R2 年度)

- ・ねらい：算出した気象データ、人口、及び建物分布などを考慮し、設計や技術開発などの目的・用途に利用可能な地域区分を検討・提案する。
- ・試験項目等：目的・用途に応じた地域区分の提案

3. 研究成果

1) 既存の気象データの調査・整理 (H30 年度)

- ・既存の気象データを調査しその特徴を整理した。その結果、気象庁の測定以外のデータは気象測器の情報が少ないことや整備情報が曖昧なことが多く、機差や異常・欠測値の補正ができないことを明らかにした。

2) 近隣の気象データに基づく補間手法に関する検討 (H30～R 元年度)

- ・気象庁が作成・公開している「メッシュ平年値 2010」(30 年平年値) のデータを基に、外気温度および日射量の日別値を推定する手法を提案した。道内で日別平年値が存在する気象観測地 (アメダスや気象官署) 22 地点について推定値と実測地を比較した結果、非常に高い精度であった (図 1～2)。
- ・天気予報などに活用される「メソ数値予報モデル GPV (MSM)」に基づいて、時別の外気温度、絶対湿度、風向・風速、降水量、日射量、大気放射量を推計する手法を提案した。

3) 気象データの構築 (H30～R2 年度)

- ・提案した手法に基づいて、道内に含まれるすべての基準地域メッシュ (約 1 kmメッシュ) を対象に時別の外気温度、絶対湿度、風向・風速、降水量、日射量および大気放射量を直近 10 年間分 (2011 年 1 月 1 日～2020 年 12 月 31 日) 構築した。計算の例を図 3～4 に示す。

4) 目的・用途に応じた地域区分の提案 (R2 年度)

- ・構築した気象データに基づいて、暖房度日 [°C・日] に基づく区分、日射量に基づく区分、コンクリートの当該危険度マップなどを作成した。地域区分やマップは、気象データが更新されても常に最新の区分・マップを計算できるように、作成方法を整理した計算用プログラムを作成した。

< 具体的データ >

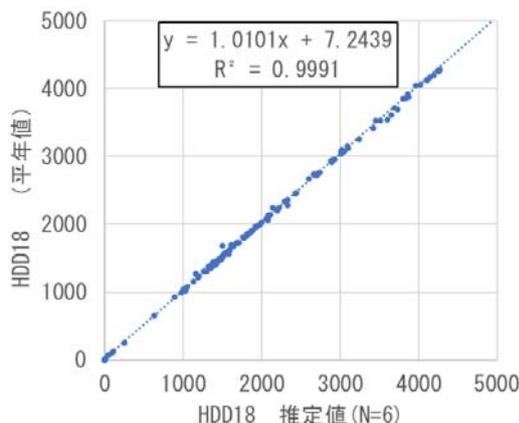


図 1 観測値との比較 (暖房度日 [°C 日])

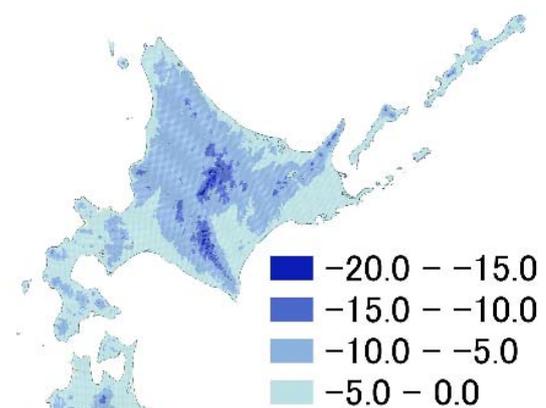


図 3 外気温度の計算例 [°C] (2011/12/21 12:00)

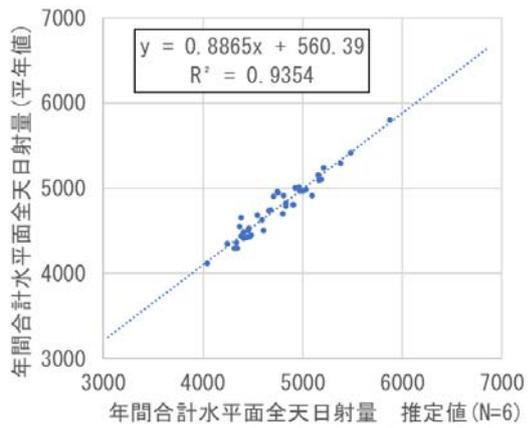


図2 観測値との比較 (日射量[MJ/m² h])

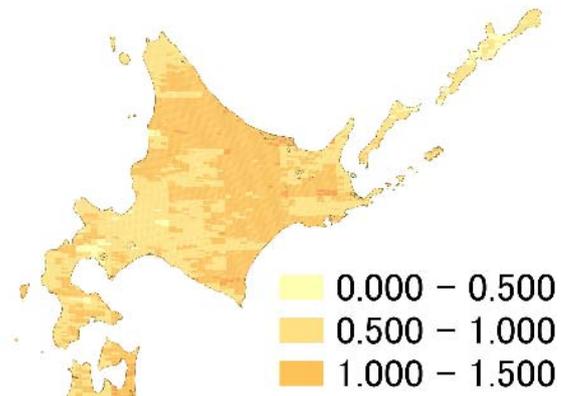


図4 日射量の計算例[MJ/m² h] (2011/12/21 12:00)

4. 今後の見通し

- ・本研究で作成された 1 kmメッシュ気象データや地域区分は道内において建築物の設計や技術開発等を行う事業者にも活用される。
- ・気象データは時々刻々と更新されるため、継続的にデータを更新していく必要がある。そのため、これらのデータを体系的に管理していく方法を引き続き検討していく。また、整備した気象データを活用したポテンシャルマップの作成やデータの追加を実施していく。

目 次

1. 研究の背景と目的	1
(1) 研究の背景.....	1
(2) 研究の目的.....	1
(3) 研究項目	1
2. 既存の気象データの調査・整理	1
(1) 実測データ.....	1
(2) 推計気象データ	2
(3) 既存データの比較.....	3
3. 近隣の気象データに基づく補間手法に関する検討	4
(1) 外気温度の補間手法の検討	4
(2) 絶対湿度の空間補間手法の検討	7
(3) 水平面全天日射量の推計手法の検討.....	8
(4) 大気放射量の推計.....	11
(5) 風向・風速の補間手法の検討.....	13
4. 気象データの構築	15
(1) 気象データ構築プログラムの概要	15
(2) 計算結果とデータの特徴の把握	15
5. 目的・用途に応じた地域区分の提案	17
6. まとめ	18

1. 研究の背景と目的

(1) 研究の背景

近年、地球温暖化対策や国内におけるエネルギー需給の観点から、より一層の省CO₂・省エネルギーが求められている。中でも、全体の1/3をも占めている業務部門・家庭部門のエネルギー消費量削減を目指し、建築物における省エネルギー対策の抜本的強化は必要不可欠とされている¹⁾。

建築物のエネルギー消費性能は、外気の温度に加え、日射や湿度、地温、風など、地域の気候に左右される。現在、建築関連分野で一般的に利用される気象データは気象庁の観測データ（気象官署・アメダス）に基づいている。しかし、気象庁の観測地点は概ね21kmごとに設置²⁾されており空間的な間隔が広い。そのため、標高差が大きい地域などでは最寄りの観測地点であっても建設地とは大きく環境が異なる場合も少なくない。最寄りの観測地点の気象データを利用して建設地の実態を反映できないため、建設地の気候条件を加味した設計には不十分である。

以上のことなどから、建築物のエネルギー消費性能の更なる向上のため、建設地の気候条件を加味した設計や技術開発などに活用可能な空間的に細やかな気象データの構築が求められている。

(2) 研究の目的

本研究では、建設地の気候条件を加味した設計や技術開発等に利用可能で、気象庁の観測データ以上に空間的に細やかな気象データセットを作成すること、および、それらに基づく地域区分を提案することを目的としている。

(3) 研究項目

研究は以下に示す4項目について実施した。まず、「①既存の気象データの調査・整理」として、気象庁や様々な機関から入手可能な気象データについて情報を収集し、その特徴について整理する。加えて、推計に活用する気象データを選定する。続いて、「②近隣の気象データに基づく補間手法に関する検討」として、入手可能な気象データに基づいて、概ね1kmメッシュ程度に空間補完する方法について提案する。「③気象データの構築」では、①で選定した気象データを②で提案した補間手法に基づいて、北海道全域を対象に1kmメッシュ、1時間別、10年間分程度の気象データセットを作成する。また「④目的・用途に応じた地域区分の提案」において、作成した気象データセットに基づいて作成できるいくつかの

ポテンシャルマップや地域区分を試作する。

[参考文献]

- 1) 経済産業省 資源エネルギー庁：令和元年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書2020）
- 2) 気象庁 HP, <https://www.jma.go.jp/jma/index.html>,（参照2021-03-10）

2. 既存の気象データの調査・整理

本章では、1kmメッシュ、1時間別、10年間分程度の気象データセット（温度・湿度・日射量・地盤地中熱性状・風向・風速等）を作成することを目的に、既存の気象データを調査・整理し、データの特徴などを取りまとめる。一般に公開・認知されている気象データのうち日本域を対象としているデータを調査の対象とした。

(1) 実測データ

実測データとしては、前述のように気象庁による気象観測（気象官署・アメダス）がよく活用される。観測内容は観測地点によって異なるが、令和3年3月10日現在では、降水量の観測所が約1300カ所（約17km間隔）、気温・風向・風速・日照時間の観測所が約840カ所（約21km間隔）、日射量の観測所が約50カ所設置されている。リアルタイムの値及び過去の気象データについても一般に公開されている。公開されているデータの期間は観測地点・気象要素ごとによって異なるが、アメダスが運用され始めた昭和49年ごろからは多くのデータが利用できる。時間的なスケールは10分値～1年間値などが公開されている。また、約1300カ所の気象官署及び特別地域気象観測所における地上気象観測データについては平成20年6月以降の1分値、平成27年3月以降の10秒値が一般財団法人 気象業務支援センターを通じて提供されている。¹⁾

気象庁以外に、気象データを観測している機関としては国土交通省や環境省があげられる。

国土交通省では主に河川や道路の管理などを目的に主要な河川周辺（約2650カ所）及び道路周辺（約1700カ所）に気象観測装置を設置している。水管理・国土保全局が実施している河川周辺の気象観測では降水量、河川の水位、流量や水質などが観測されており、建築に関わる気象データは少ない。観測データについては、国土交通所水文水質データベースからダウンロードすることができる。²⁾ 道路局が実施している道路周辺の気象観測では降水量、風向・風

速、外気温、路面温度、積雪深などの気象データを測定している。観測データのリアルタイムの値は国土交通省のホームページ等で公開されているが、過去データの公開はされていない。^{例え3)}

環境省では大気汚染物質の常時監視を目的として、約 1880 ヶ所で大気汚染物質の観測を行っている。大気汚染物質は気象条件の影響を強く受けることから汚染物質以外に外気温度、相対湿度、風向、風速の測定が実施されている。大気汚染物質の観測が主であるため、自動車の多い都市部などに観測所が集中する傾向があるが、地域によっては気象庁のアメダス以上に細やかなデータを得ることができる。これらの観測データのリアルタイム値は環境省のホームページ(愛称 そらまめ君)で閲覧することができる⁴⁾なお、そらまめ君に掲載される値は速報値であり、データ検証の結果、後日修正されることがあるため注意が必要である。確定値のうち 2009 年以降観測分については 1 時間値を国立研究開発法人 国立環境研究所の「環境数値データベース」からダウンロードすることができる。⁵⁾

上記以外の気象観測として、農業に活用することを目的とした気象観測や、防災(火災や自然災害)に利用することを目的とした気象観測が実施されている。

農業用としては、地方自治体の庁舎や農地に自動気象計(通称マメダス等)が設置されており、外気温度、相対湿度、風向、風速、日射量などが観測されている。^{例え6)}また、民間事業者が有料サービスとして設置・管理する気象測器等も存在している。^{例え7)、8)}消防署が管理しているものとしては、地方自治体の消防所などに消防用の気象観測装置が設置されており、外気温度、相対湿度、降水量、風向、風速、気圧などが観測されている。しかし、これらの気象データの過去データは多くの場合一般には公開されていない。リアルタイムの値は自治体のホームページなどで公開されている事例があるが^{例え9)}データの形式などは観測機関によって異なる。また、気象庁の検定を取得していない機材が設置されている観測点が多く存在することや、設置位置(高さや周辺状況など)が明らかになっていないなどの問題があり、他の気象データとの単純な連結が難しいと考えられる。

(2) 推計気象データ

推計気象データとしては、気象庁が作成しているメッシュ平年値や数値予報モデルなどがある。

メッシュ平年値とは、気象観測地点ごとに算出された 30 年平年値を基に日本全国を約 1km メッシュで推定したものである。対象とする気象要素は日平均気温・日最高気温・日最低気温・降水量・最深積雪・日照時間・全日日射量の 7 種類である。いずれの気象データも月平均値及び年平均値を整備しており、時別及び日別のデータは存在しない。公開されているデータは 1971~2000 年を統計期間とした「メッシュ気候値 2000」と 1981~2010 年を統計期間とした「メッシュ平年値 2010」等が存在している。95%の観測点(従属資料)だけを使って作成したメッシュ平年値 MND と残り 5%の観測点の値(独立資料)を比較することで精度検証を行っており、全月を合わせたデータにおいて、2 乗平均平方根誤差(以下「RMSE」という)は、平均気温 0.4℃、日最高気温 0.5℃、日最低気温 0.9℃、降水量 26.1mm (18%)、日照時間 9.9 時間 (7%)、最深積雪 25 cm (36%) となっている。¹⁰⁾

数値予報モデルは、気象庁で運用している気象モデルであり、いわゆる天気予報に用いられる気象データである。気象庁では、予報する目的に応じて幾つかの数値予報モデルを運用している。目先数時間程度の大雨等の予想には 2km 格子の局地モデル(以下、「LFM」という)を、数時間~1 日先の大雨や暴風などの災害をもたらす現象の予報には 5km 格子のメソモデル(以下、「MSM」という)を、1 週間先までの天気予報や台風予報には約 20km 格子の全球モデル(以下、「GSM」という)と約 40km 格子の全球アンサンブル予報システムが使用される。数値予報モデルで予測できる気象現象の規模は格子間隔の大きさに依存するため、高・低気圧や台風、梅雨前線などの水平規模が 100km 以上の現象は格子間隔が 20km の GSM で、局地的な低気圧や集中豪雨をもたらす組織化された積乱雲など水平規模が数 10km 以上の現象は格子間隔が 5km の MSM で、水平規模が 10 数 km 程度の現象は格子間隔が 2km の LFM で予測ができる。しかしながら、まだ個々の積乱雲が表現できる程度の精度はないとしている。¹¹⁾

天気予報用の数値予報モデルは、太陽からの日射(長波放射・短波放射)、降水、蒸発、風などの物理現象を考慮している。また、随時、実際の観測データを同化することで予報精度を向上させている。多くの気象予報はこれらのデータを基に実施されていることから、日本国内では最も一般的な気象データであると考えられる。作成・公開されている期間やデータの性状などから、建築分野での利用において

はMSMが最も適していると考えられる。

その他にも、外気温と天気分布について地上気象の実況を約1kmメッシュで推定している「推計気象分布」等がある。

気象庁以外が作成している推計気象データとしては、拡張アメダス気象データやメッシュ農業気象データシステムがある。

拡張アメダス気象データ（以下、EA気象データという）は、株式会社気象データシステムが作成・公開している気象データセットであり、気象庁の地域気象観測点（アメダスなど）において観測されたデータのうち欠測および異常値が補間されている。また、日射量などのアメダスで観測されていない気象要素についても補間計算などにより補充されている。全国の約840地点について、昭和56年（1981年）以降の気温、絶対湿度、全天日射量、大気放射量、風向、風速、降水量、日照時間の8種類の気象要素の特別値及び日別値が整備されている。また、設計用の気象データとして、標準年データ（10年程度の観測データから、月別に代表的な年を選択し、それらを接合して作成した仮想の1年間のデータ）や空調設計用最大負荷計算に使用可能な気象データなどが存在する。¹²⁾ アメダスでは観測のない日射量や大気放射量といった負荷計算などに使用される気象データが補間されていることから、建築関連分野でよく利用される気象データである。また、EA気象データの一部は現在の建築物省エネ法に基づく省エネルギー基準（平成28年基準）への適合性を判定するための計算にも用いられている。さらに、EA気象データを拡張・加工した気象データがシミュレーションツールに活用される事例もある。

メッシュ農業気象データシステムは国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構（略称：農研機構）が作成・公開している気象データセットであり、過去値、予報値および平年値を、全国を対象に1kmメッシュで推計している。昭和55年（1980年）以降の日平均気温、日最高気温、日最低気温、降水量、日照時間、全天日射量、下向長波放射量を、平成20年（2008年）以降の日平均相対湿度、日平均風速、積雪深、積雪相当水量、日降雪相当水量が公開されている。いずれも日別値であり、特別値は公開されていない。一方で、当日から26日先までの予報値が公開されている。登録には審査が必要となるが、研究・開発・教育・試用目的であれば、農業分野以外であっても利用可能となっている。¹³⁾ 推計は、メッシュ平年値、アメダス観測値および気象庁数値

モデルの予報値（MSMおよびGSM）を組み合わせで行っている。メッシュ農業気象データシステムでは気温の標高補正なども実施している。推定精度としては、農研機構が気象庁とは独立して実施している気象観測の結果と推計値を比較した結果、RMSEは日平均気温0.38℃、日最高気温0.74℃、日最低気温0.82℃、日積算降水量3.2mmであったとしている。¹⁴⁾

（3）既存データの比較

空間的・時間的に細やかな設計用気象データセットを作成することを念頭に（1）および（2）で調査・整理した気象データを評価し、データセットの構築に使用する気象データを検討した。

評価は主に次に示す観点から行った。①データの信頼性・精度が高いこと。②直近10年以上のまとまった期間のデータが公開されていること。③メッシュデータなどのように空間的に細やかなデータであること。④負荷計算などに活用できるようにデータの時間的間隔が1時間以下であること。⑤外気温、湿度、日射量、風（風向・風速）の気象要素が含まれていること。

実測値では、「気象庁による気象観測」の評価が高い。しかし、空間的間隔が広いこと、湿度および日射量の観測地点が限定されることなどから、空間的・時間的に細やかな設計用気象データセットを作成するためには未だ多くの技術的課題がある。

推計値では、「数値予報モデル（MSM）」、「拡張アメダス気象データ」、「メッシュ農業気象データシステム」の評価が高い。しかし、「拡張アメダス気象データ」は湿度・日射量のデータが補間されているものの、気象庁の観測地点に依存するため空間的間隔が広く、空間的な補間が必要となるため、「気象庁による気象観測」と同様に本研究においては活用が難しいと考えられる。「メッシュ農業気象データシステム」は推定精度も高く、1kmメッシュと細やかなデータだが、日別のデータのみであり、時間的な補間が必要となる。また、風向のデータが存在しないため、異なる推計手法で風向を補間する必要がある。気象要素はそれぞれが相互にかつ複雑に影響しあっている現象であることから、他の推計モデルを混在させて利用することは望ましくない。一方で、「数値予報モデル（MSM）」は、推定精度（RMSE）が外気温で2度ほどと多少の誤差はあるものの、5kmメッシュで1時間ごとのデータであり、空間的・時間的に細やかなデータである。また、日射量については公開期間

が少ないものの、外気温、湿度、日射量、風（風向・風速）の全ての要素が存在している。さらに、数値予報モデルでは前述のように様々な物理モデルを1つにとりまとめて気象要素を相互に紐解いていることから、他の推計データと比べて、気象要素間の影響を反映できているものと考えられる。

以上の検討を踏まえ、気象庁が作成している MSM を基に空間的間隔の更なる細分化・推計値の高精度化を行うことで空間的・時間的に細やかな気象データセットの構築を目指すこととした。

[参考文献]

- 1) 気象業務センター 地上アメダス1分値・10秒値データ, <http://www.jmbc.or.jp/jp/offline/hd0140.html>, (参照 2021-03-10)
- 2) 国土交通省 水文水質データベース, <http://www1.river.go.jp/>, (参照 2021-03-10)
- 3) 国土交通省 北海道開発局 北海道地区 道路情報, http://info-road.hdb.hkd.mlit.go.jp/RoadInfo/index_kisyo.htm, (参照 2021-03-10)
- 4) 環境省大気汚染物質広域監視システム, <http://soramame.tai-ki.go.jp/>, (参照 2021-03-10)
- 5) 国立環境研究所 環境数値データベース, <https://www.nies.go.jp/igreen/index.html>, (参照 2021-03-10)
- 6) 奈井江町 農業気象情報, <https://www.agw.jp/naie/>, (参照 2021-03-10)
- 7) 気象工学研究所 農業気象情報サービス ファーミル, <https://www.meci.jp/farmil.html>, (参照 2021-03-10)
- 8) 明星電気株式会社「超高密度気象観測・情報提供サービス」, <http://www.meisei.jp/poteka/>, (参照 2021-03-10)
- 9) 横須賀市消防局 気象観測情報, <http://fire.yokosuka.kanagawa.jp/weather/>, (参照 2021-03-10)
- 10) 気象庁:メッシュ平年値 2010 解説, 2012.9
- 11) 気象庁 数値予報モデルの種類, <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-4.html>, (参照 2021-03-10)
- 12) MDS 株式会社 気象データシステム 拡張アメダス気象データ (EA 気象データ) 概要, <https://www.metds.co.jp/product/ea/>, (参照 2021-03-10)
- 13) 農研機構 メッシュ農業気象データシステム, <https://amu.rtd.naro.go.jp/>, (参照 2021-03-10)
- 14) 大野ら:実況値と数値予報, 平年値を組み合わせたメッシュ気温・降水量データの作成, 生物と気象, 2016年16巻 p.71-79, 2016

3. 近隣の気象データに基づく補間手法に関する検討
本章では、MSM データに基づいて、空間的・時間的

に細やかな気象データセットを構築するために、気象データの空間補間手法や、不足する気象データの推計手法について検討する。

(1) 外気温度の補間手法の検討

外気温度の空間補間手法としては、標高補正や距離の重みづけ平均などが使用されることが多い^{例えば1)や2)}。標高補正は、外気温の存在する地点と新たに算出したい地点の標高差によって外気温を補正する手法であり、前述のメッシュ農業気象データシステム等で使用されている。距離の重みづけ平均は、近隣のデータ1点ではなく複数点のデータを基に推計する手法であり、距離に近いほど影響が大きくなるように重みづけして平均する手法である。これは、前述の推計気象分布等で使用されている。

本節では、これらの空間補間手法を使用して外気温度データの空間補間が可能であるか検討した。具体的には、気象官署を推計対象とし、その気象官署の実測値と比較することで精度を検証した。

1) 標高補正

標高補正に使用する MSM データは気象官署の最寄りの MSM 格子点のデータを使用することとした。図 3-1 に使用する MSM 格子点データのイメージを示す。

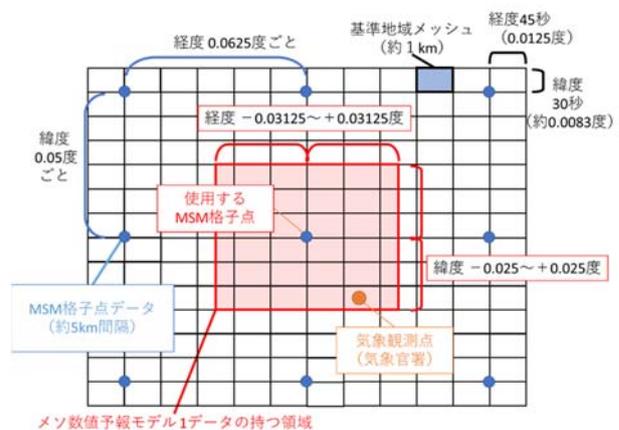


図 3-1 標高補正で使用する MSM 格子点データ

外気温度の標高補正は式 (3-1) に基づいて求めることとした。

$$T_{ec} = T + (\Delta h \times -0.0065) \quad (3-1)$$

ここで、

T_{ec} : 標高補正された外気温度[°C]

T : 最寄りの格子点外気温度[°C]

Δh : 最寄りの MSM 地点と推計する気象官署地点の標高差[m]

2) 距離の重みづけ平均

距離の重みづけ平均に使用する MSM データは気象官署の周囲の MSM 格子点データを使用することとした。使用する格子点は 4 地点を基本とし、気象官署の位置によっては最大 6 地点を使用することとした。図 3-2 に使用する MSM 格子点データのイメージを示す。

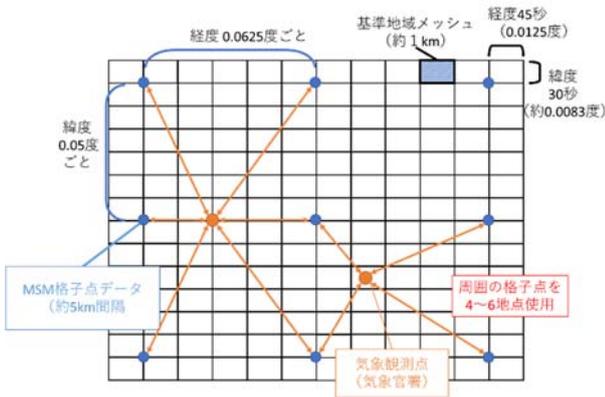


図 3-2 距離の重みづけ平均で使用する MSM 格子点データ

外気温度の距離の重みづけ平均は式 (3-2) ~ (3-3) に基づいて求めることとした。距離が近いほど影響が大きくなるように係数を与えているため、厳密には距離の逆数による重みづけ平均であるが、他の既往研究と整合させるため、距離の重みづけ平均と呼ぶ。

$$T_{wa} = \sum (W_i \times T_i) \quad (3-2)$$

$$W_i = \frac{1}{r_i} / \sum_i \frac{1}{r_i} \quad (3-3)$$

ここで、

T_{wa} : 距離の重みづけ平均された外気温度[°C]

T_i : 格子点 i の外気温度[°C]

W_i : 格子点 i の重みづけ係数[-]

r_i : 格子点 i と気象官署の距離[m]

MSM の格子点は等緯経度で設定されているが、地球は楕円体であるため厳密には地点によって格子点間の距離が異なる。そこで、地球形状を回転楕円体として近似する Vincenty 法の逆解法³⁾を用いて気象官署と格子点の距離を求めた。楕円体(補助球)は GRS80 モデルを用いた。

3) 標高補正+距離の重みづけ平均

距離の重みづけ平均に使用する MSM データをあら

かじめ標高補正しておくことで、さらに精度を向上させられないか検討した。使用する MSM 格子点データは図 3-2 と同様とし、それらすべてを気象官署の高さまで標高補正したのちに、距離の重みづけ平均を行う。図 3-3 に使用する標高補正+距離の重みづけ平均のイメージを、式 (3-4) ~ (3-6) に使用する式を示す。

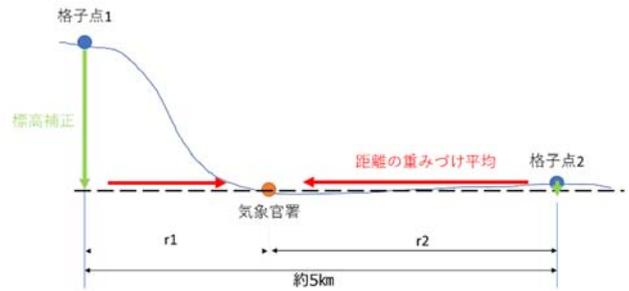


図 3-3 標高補正+距離の重みづけ平均のイメージ

$$T_{ec_wa} = \sum (W_i \times T_{ec_i}) \quad (3-4)$$

$$W_i = \frac{1}{r_i} / \sum_i \frac{1}{r_i} \quad (3-5)$$

$$T_{ec_i} = T_i + (\Delta h_i \times -0.0065) \quad (3-6)$$

ここで、

T_{ec_wa} : 標高補正した上で距離の重みづけ平均された外気温度[°C]

T_{ec_i} : 標高補正した格子点 i の外気温度[°C]

W_i : 格子点 i の重みづけ係数[-]

r_i : 格子点 i と気象官署の距離[m]

T_i : 格子点 i の外気温度[°C]

Δh_i : 格子点 i と推計する気象官署地点の標高差[m]

4) 推定精度の確認

図 3-4 に札幌を対象とした、推定方法ごとの推定値と観測値の関係を、図 3-5 に全国から選択した 10 地点の平均平方二乗誤差(以下、「RMSE」という)について示す。推定値と観測値の関係はいずれの方法でも直線関係が認められた。図 3-4 内に示す平均バイアスエラー(以下、「MBE」という)および RMSE を見ると、札幌の場合では、わずかな差であるが標高

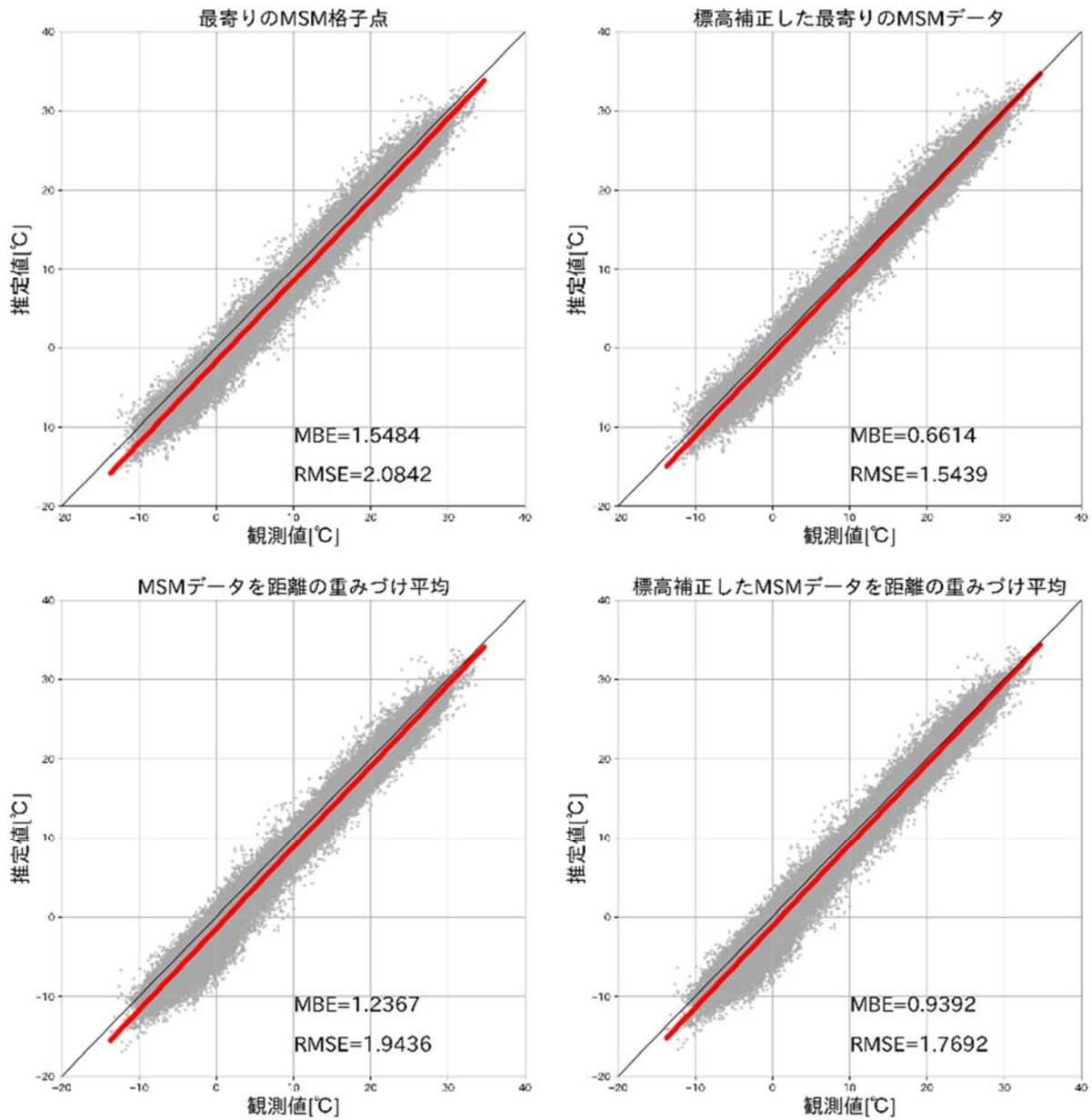


図 3-4 推定方法ごとの推定値と観測値の関係（札幌）

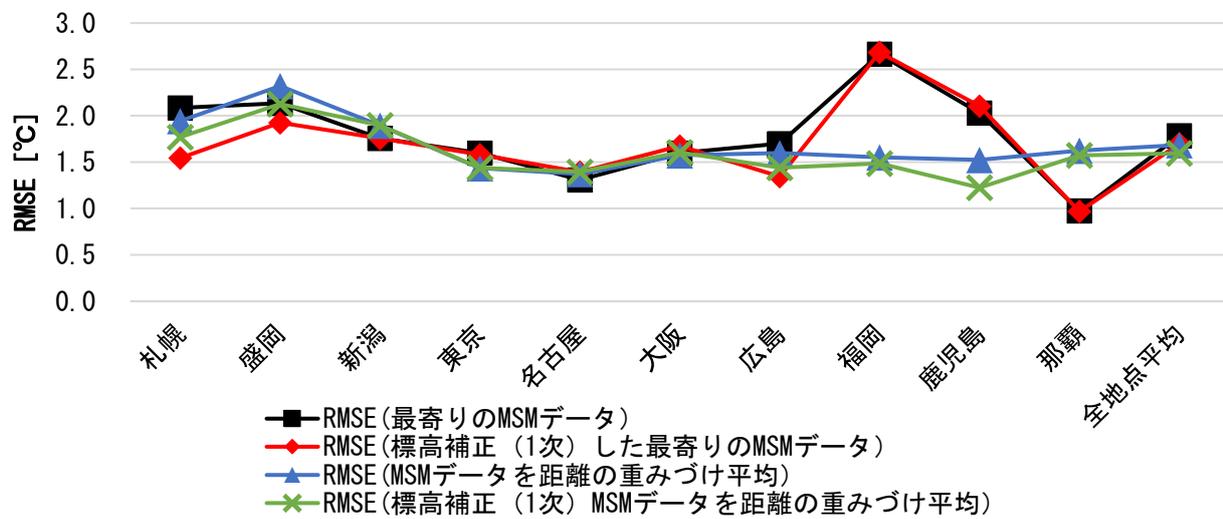


図 3-5 推定方法ごとの RMSE

補正のみを実施した結果で誤差が最小となった。

一方で、全国 10 地点の結果を見ると、平均値では標高補正+距離の重みづけ平均の結果が最も誤差が小さかった。これは、標高補正のみの場合では、参照する MSM が一地点のみであるために、最寄りの MSM との位置関係によっては単純な標高補正だけでは説明ができない場合に誤差が大きくなるケースがあるためだと考えられた。標高補正に加えて距離の重みづけ平均を実施することで、複数の MSM を参照するため、上述のようなケースでも誤差が拡大されることを抑えることができているものと考えられる。

これらの結果から、外気温度の空間補間には、標高補正+距離の重みづけ平均を使用することとした。

(2) 絶対湿度の空間補間手法の検討

絶対湿度の空間補間手法としては、外気温度と同様に標高補正や距離の重みづけ平均などが用いられる。絶対湿度についても外気温度と同様に、標高補正や距離の重みづけ平均を使用して空間補間が可能であるか検討する。

1) 標高補正

絶対湿度の標高補正では、標高によって変化した気温および気圧に基づいて飽和水蒸気量を考慮する手法がある。しかし、その多くは地上から上空までの絶対湿度が均一であるという仮定に基づいている。MSM 気象データには、地上面以外に気圧面データも存在するため、上空の絶対湿度の分布についても検討することが可能である。(ただし、気圧面は約 10km 間隔、3 時間ごとのみであり、地上面データよりも空間的・時間的に粗い。)そこで、気圧面データを用いて、上空の絶対湿度分布を考慮した絶対湿度の標高補正が可能か検討した。

気象官署ごとに最寄りの MSM 格子点データ (気圧面) の地上との標高差および絶対湿度差を求めた。図 3-6 に使用する MSM 格子点データのイメージを示す。

MSM の気圧面データは 1000hPa、975hPa、950hPa、925hPa、900hPa、850hPa、800hPa、700hPa、600hPa、500hPa、400hPa、300hPa の 12 地点について公開されている。ここでは、およそ地上から 1000m の分布を確認するため、1000hpa~900hpa について検討した。図 3-7 に札幌の絶対湿度差と標高差の関係を示す。また図中にはそれぞれ、1 次式、2 次式、3 次式に最小二乗法でフィッティングして得た関数を示す。

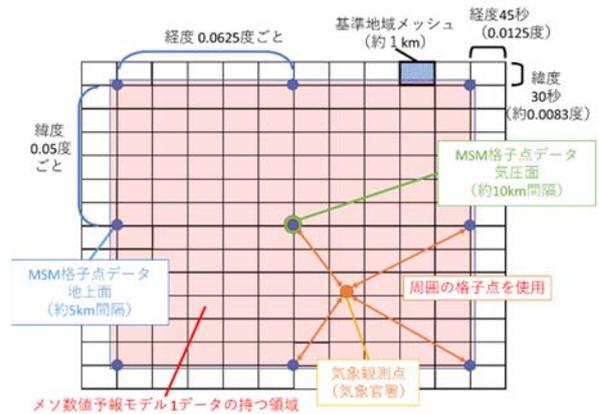


図 3-6 標高補正で使用する MSM 格子点データのイメージ

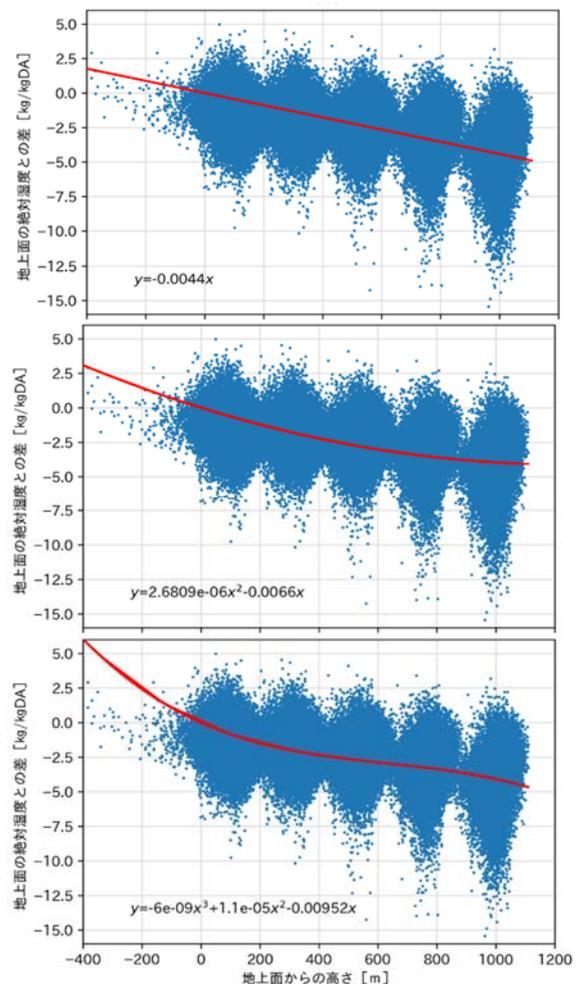


図 3-7 絶対湿度差と標高差の関係 (札幌)

いずれの地点も標高が高くなるにつれて絶対湿度が減少する傾向があるように見える。しかし、100m 付近に 1000hPa、300m 付近に 975hPa などのように使用したデータに依存する塊が生じてしまった。なお、地上面からの高さに負の値が生じるのは、地上面が

1000hPa 以下になる気象条件が存在するためである。

データの塊について、季節差などの影響も検討したが、明確な関係性は認められなかった。その日の気象条件（高気圧や低気圧など）によって変動していると思われる。ある 1 時間を取り出して近似を行えば比較して高い相関が得られる可能性はあるが、約 2 万メッシュにもおよぶ格子点全てを 10 年分について算出することは現実的ではない。そこで、近似の精度は高くないが、計算コストの観点からここで得られた係数を基に標高補正が可能か検討した。なお、式 (3-7) に示すように、標高補正後の絶対湿度が標高補正後の外気温度における飽和水蒸気量を上回っていた場合には飽和するものと考え、飽和水蒸気量を限度とすることとした。

$$x_{ec} = \begin{cases} x_{s_{ec}} & ((x + \Delta x) \geq x_{s_{ec}}) \\ x + \Delta x & (\text{上記以外}) \end{cases} \quad (3-7)$$

ここで、

Δx : 地上面の絶対湿度との差 [g/kg DA]

x_{ec} : 標高補正後の絶対湿度 [g/kg DA]

標高補正後の気温に基づく飽和水蒸気量
 $x_{s_{ec}}$: [g/kg DA]

2) 飽和を考慮した距離の重みづけ平均

絶対湿度の距離の重みづけ平均は外気温度と同様の手法で実施することとした。距離や使用する MSM の格子点も同様とした。使用した式を式 (3-8) ~ (3-9) に示す。なお、距離の重みづけ平均においても標高補正と同様に、補正前位置と補正後位置の標高差によって、気温が低下し、絶対湿度が飽和水蒸気量を上回ってしまう場合には飽和水蒸気量を限度とした。

$$x_{wa} = \sum (W_i \times x_i) \quad (3-8)$$

$$W_i = \frac{1}{r_i} / \sum_i \frac{1}{r_i} \quad (3-9)$$

ここで、

x_{wa} : 距離の重みづけ平均された絶対湿度 [g/kg DA]

x_i : 格子点 i の絶対湿度 [g/kg DA]

W_i : 格子点 i の重みづけ係数 [-]

r_i : 格子点 i と気象官署の距離 [m]

3) 標高補正+飽和を考慮した距離の重みづけ平均

絶対湿度についても、外気温度と同様に標高補正と距離の重みづけ平均の組み合わせを検討した。式 (3-10) ~ (3-12) に使用した式を示す。なお、 Δx_i は前述の標高補正に基づいて算出した値を用いた。

$$x_{ec_wa} = \sum (W_i \times x_{ec_i}) \quad (3-10)$$

$$W_i = \frac{1}{r_i} / \sum_i \frac{1}{r_i} \quad (3-11)$$

$$x_{ec_i} = \begin{cases} x_{s_{ec_i}} & ((x_i + \Delta x_i) \geq x_{s_{ec_i}}) \\ x_i + \Delta x_i & (\text{上記以外}) \end{cases} \quad (3-12)$$

ここで、

標高補正した上で距離の重みづけ平均された絶対湿度 [g/kg DA]

x_{ec_i} : 標高補正した格子点 i の絶対湿度 [g/kg DA]

W_i : 格子点 i の重みづけ係数 [-]

r_i : 格子点 i と気象官署の距離 [m]

x_i : 格子点 i の絶対湿度 [g/kg DA]

4) 推定精度の確認

図 3-8 に札幌を対象とした、推定方法ごとの推定値と観測値の関係の一例を、図 3-9 に全国から選択した 10 地点の RMSE について示す。外気温度と同様に推定値と観測値の関係はいずれの方法でも直線関係が認められた。図 3-8 内に示す MBE および RMSE を見ると、札幌の場合では、わずかな差であるが標高補正 (1 次) + 距離の重みづけ平均を実施した結果で誤差が最小となった。

一方で、全国 10 地点の結果を見ると、平均値では飽和を考慮した距離の重みづけ平均の結果が最も誤差が小さかった。これは、標高補正に使用した補正係数に上述したような問題があり、地点によっては標高補正に伴って誤差が大きくなるケースがあるためだと考えられた。これらの結果から、絶対湿度の空間補間には、飽和を考慮した距離の重みづけ平均を使用することとした。

(3) 水平面全天日射量の推計手法の検討

MSM では 2017 年 12 月以前の日射量が公開されていないため、直近 10 年分程度を整備するためには、過去の日射量を推計する必要がある。そこで、不足している水平面全天日射量日射量を推計する手法について検討した。

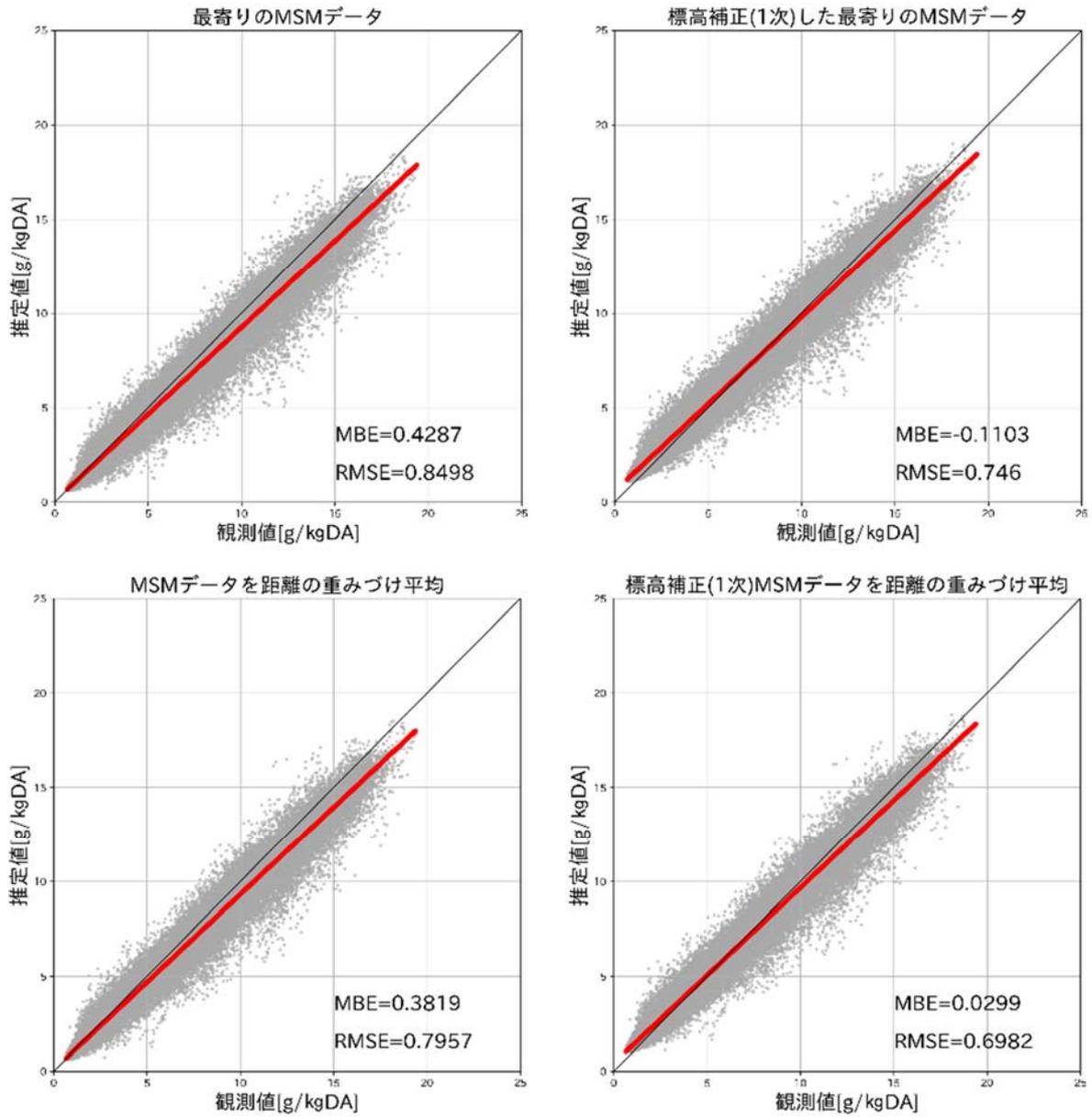


図 3-8 推定方法ごとの推定値と観測値の関係 (札幌)

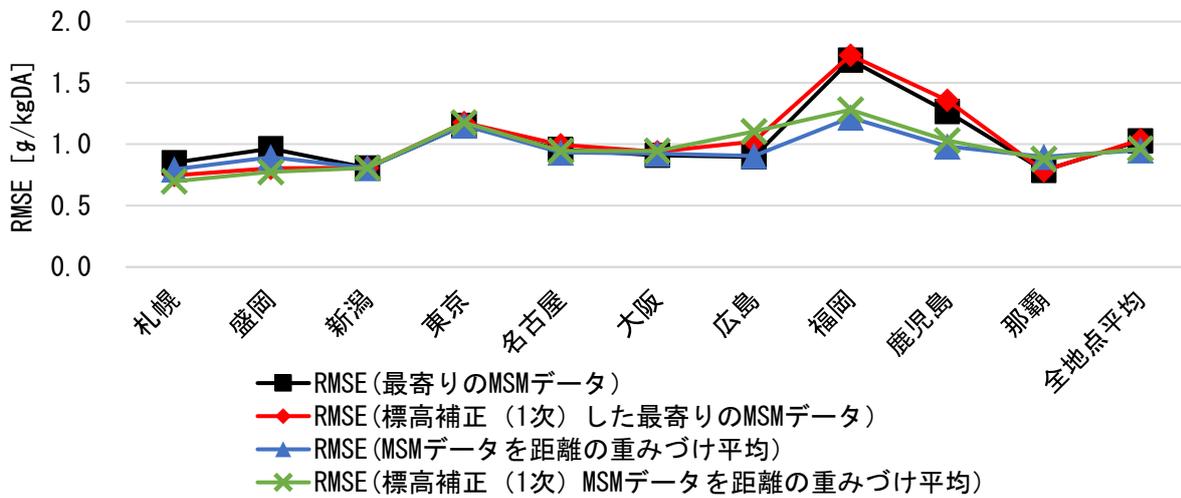


図 3-9 推定方法ごとの RMSE

1) 各種気象要素に基づく日射量の推計手法の概要

地表面の日射量は様々な気象要素に影響を受けると考えられる。そこで、式 (3-13) に示すように、日射量に影響を与えると考えられる雲量、エアマス、気温、湿度を説明変数に、水平面全天日射量と大気外水平面日射量の比 (J_h/J_{0h}) を目的変数にした重回帰分析から日射量の推計が可能か検討した。

$$J_h/J_{0h} = a \times C_H + b \times C_M + c \times C_L + d \times m_{AM} + e \times T + f \times \varphi_R + g \quad (3-13)$$

ここで、

- J_h : 水平面全天日射量 [MJ/m²h]
- J_{0h} : 大気外水平面日射量 [MJ/m²h]
- C_H : 上層雲量 [-]
- C_M : 中層雲量 [-]
- C_L : 下層雲量 [-]
- m_{AM} : エアマス [-]
- T : 外気温度 [°C]
- φ_R : 相対湿度 [%]

a, b, c, d, e, f, g : 係数 [-]

説明変数の雲量（上層雲量、中層雲量、下層雲量）、気温および湿度は、MSM の値を用いた。雲量、気温および湿度は推計対象の時刻（以下、「対象時刻」という）の瞬時データであるのに対し、日射量は対象時刻の1時間前からの積算値であり、データの発生時刻にずれが生じている。そこで、説明変数に使用する雲量、気温および湿度は、対象時刻の1時間前の瞬時値と対象時刻の瞬時値の平均値を使用することで、データの発生時刻を日射量と合わせることにした。また、MSM の雲量は100分率で与えられているが、百分の一にして0~1の値をとる形式に換算した値を使用した。また、25 km 範囲の平均値を使用することとした。

エアマスは既往文献^{例えは4)}に基づいて算出した。本研究では時間別の日射量を算出することを目的としているが、日の出、日の入り時間を考慮するためには1時間ごとのエアマスでは不十分である。そこで、1/10時間ごとの値を計算し、それらを平均した値を時間別の値として用いた。

目的変数の水平面全天日射量はMSMの予報値を使用した。大気外水平面日射量は既往文献^{例えは5)}に基づいて算出した値を用いた。大気外水平面日

射量についても、エアマスと同様に1/10時間ごとの値を計算し、それらを平均した値を時間別の値として用いた。

任意の時刻における真近点離角および太陽高度角は赤坂の方法^{例えは6)}を参考に求めた。

2) 重回帰分析の対象領域と使用データ

回帰式の汎用性を考慮すると、係数はなるべく少ない条件が望ましい。そこで、日本全域をまとめて重回帰分析を行うこととした。

重回帰分析に用いる気象データは、気象庁が日射量の観測を実施している気象官署 49 地点のうち MSM の領域内に所在する 46 地点の気象官署位置のデータを使用した。ただし、気象官署の実測値ではなく、気象官署の最寄りの MSM 地点の日射量、雲量、気温および湿度を使用している。そのため、日射量の MSM データが存在する 2017 年 12 月 5 日以降のデータを対象に分析を行った。大気外水平面日射量及びエアマスは MSM 地点の緯度経度に基づく値を使用した。選定した気象官署を表 3-1 に示す。

表 3-1 重回帰分析の対象とした気象官署

気象官署名
稚内、旭川、札幌、網走、帯広、室蘭、函館、青森、秋田、盛岡、仙台、山形、福島、つくば（館野）、宇都宮、前橋、東京、父島、銚子、長野、甲府、静岡、名古屋、新潟、富山、福井、彦根、大阪、奈良、広島、松江、高松、松山、高知、下関、福岡、大分、長崎、佐賀、熊本、宮崎、鹿児島、那覇、石垣島、宮古島、南大東（南大東島）

3) 場合分けの条件

日射量と気象データの関係は常に一定ではないと考えられる。特に、雲量やエアマスによって地表面に到達する日射量が変化すると考え、エアマスおよび全雲量の値により場合分けした上で重回帰分析を行った。場合分けの条件を表 3-2 および表 3-3 に示す。

表 3-2 エアマスの値による場合分けの条件

クラス	エアマス (m_{AM}) の値
AM1	$0 \leq m_{AM} < 1.5$
AM2	$1.5 \leq m_{AM} < 2.0$
AM3	$2.0 \leq m_{AM}$

表 3-3 全雲量の値による場合分けの条件

クラス	全雲量 (C_{ALL}) の値
CC1	$0 \leq C_{ALL} < 0.02$
CC2	$0.02 \leq C_{ALL} < 0.5$
CC3	$0.5 \leq C_{ALL} < 0.98$
CC4	$0.98 \leq C_{ALL}$

4) 重回帰分析の結果と推計精度

図 3-10 に、雲量等から推計した MSM と、公開されている MSM の MBE および RMSE を示す。地点ごとに多少のばらつきはみられるが、MBE で-0.03~+0.06 程度、RMSE で0.2 程度と非常に精度が高い。また、推定結果の一例として、旭川および札幌の推計値と観測値 (MSM ではなく気象官署の測定値) の比較結果の散布図を図 3-11 に示す。直線関係はあるものの、比較的大きなばらつきがみられた。しかしながら、10 年の 1 時間別値を推測した結果であるのに対して、RMSE が 0.4MJ/m²程度であり、非常に高い精度であると考えられた。

これらのことから、MSM で公開されていない 2017 年以前の日射量については、MSM から得られる雲量、気温等を説明変数とした重回帰分析を用いて補間することとした。

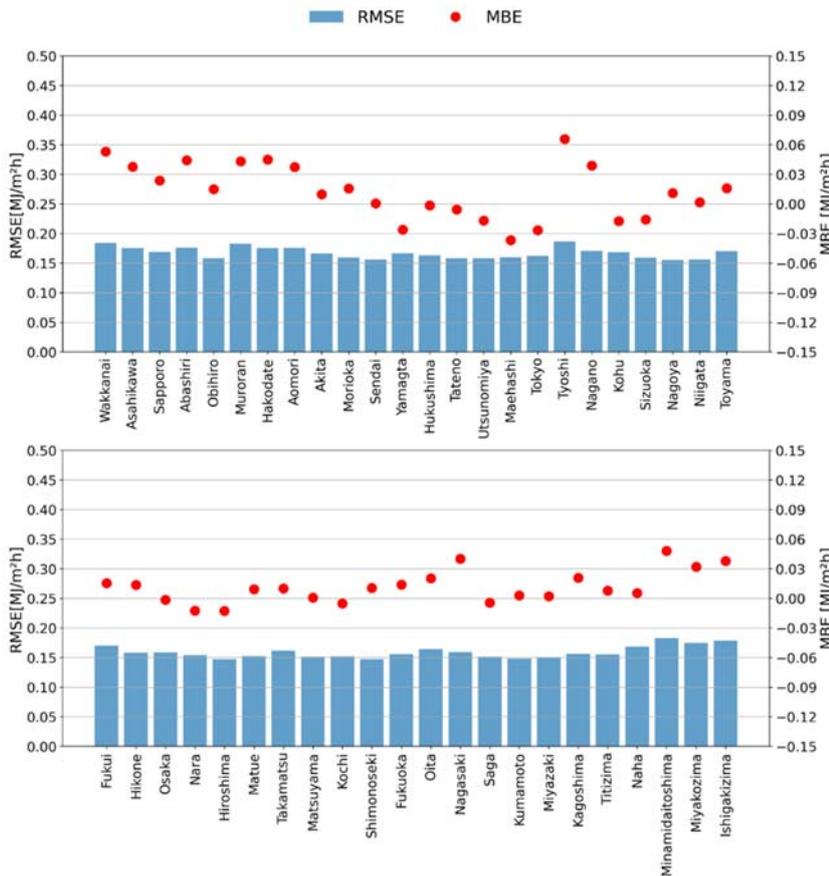


図 3-10 推計した日射量の MBE および RMSE

(4) 大気放射量の推計

建築物のエネルギー消費性能を評価するうえで、大気放射量は日射量に並んで重要な気象データの一つである。しかし、MSM には大気放射量のデータは含まれていない。そこで、大気放射量を他の MSM データに基づいて推計する手法について検討した。

1) 各種気象要素に基づく大気放射量の推計手法の概要

大気放射量 L_d は、式 (3-14) に示すように、快晴時の下向き大気放射量 L_{df} および雲の効果のファクター C から推計することができる。 (例えば 7) 8)

$$L_d = \sigma T^4 \left[1 - \left(1 - \frac{L_{df}}{\sigma T^4} \right) C \right] \quad (3-14)$$

ここで、

L_d : 雲があるときの 下向き大気放射量 [W/m²]

L_{df} : 快晴時の 下向き大気放射量 [W/m²]

T : 絶対温度 [K]

σ : Stefan-Boltzman 定数 (5.67×10^{-8} [W/m²K⁴])

C : 雲の効果のファクター [-]

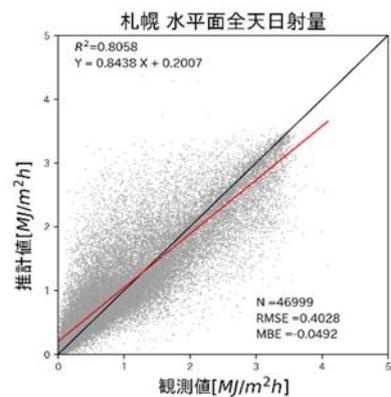
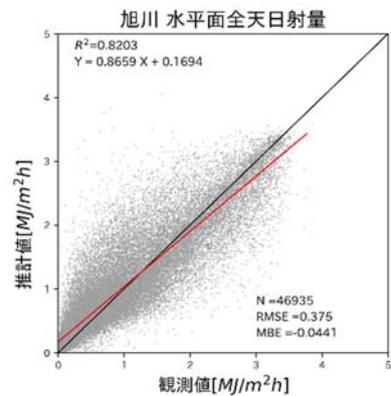


図 3-11 推計値と観測値の関係

そこで、式 (3-14) を基本式として、MSM から得られる気象データに基づいて大気放射量の推計が可能か検討した。具体的には、雲の効果のファクター C をMSM の気象データに基づいて推計する方法を提案する。

推計は、気象庁が大気放射量の観測を実施している5地点のうちMSM の領域内に存在する札幌、つくば(館野)、福岡、石垣島を対象とした。なお、大気放射量は日射量と異なり、MSM のデータが存在しないことから、気象観測所の実測値を真値とした。

重回帰分析には近藤の式^{7) 8)}を参考に作成した式(3-15)を用いた。また、降水を考慮しない条件として場合分けをせずに行った条件と、降水を考量する条件として、降雨の有無によって場合分けする条件について検討を行った。降雨の判断はMSM の降水量が0.0以下の時に降雨なし、それ以外を降雨ありとした。MSM の全雲量は低～高層雲量全ての重なりを考慮した全天に占める雲の割合であり、低～高層それぞれの雲量を合計した値とは一致しない。そこで、大気放射量への影響が大きい低層から層別の雲の重なりを考慮して計算を行うために、式(3-16)

に示すように、全雲量から低層雲量を引いた値を中高層雲量として使用した。

$$C = (U + e \times V) \times C_L + (W + e \times X) \times C_{MH} \quad (3-15)$$

$$C_{MH} = C_{cc} - C_L \quad (3-16)$$

ここで、

C_{cc} :全雲量[-] (0~1)

C_H :上層雲量[-] (0~1)

C_M :中層雲量[-] (0~1)

C_L :下層雲量[-] (0~1)

C_{MH} :中高層雲量[-] (0~1)

e :水蒸気圧[hPa]

U, V, W, X :係数[-]

2) 重回帰分析の結果と推計精度

推定結果として、重回帰分析に用いた4地点の推計値と観測値の比較結果の散布図を図3-12に示す。

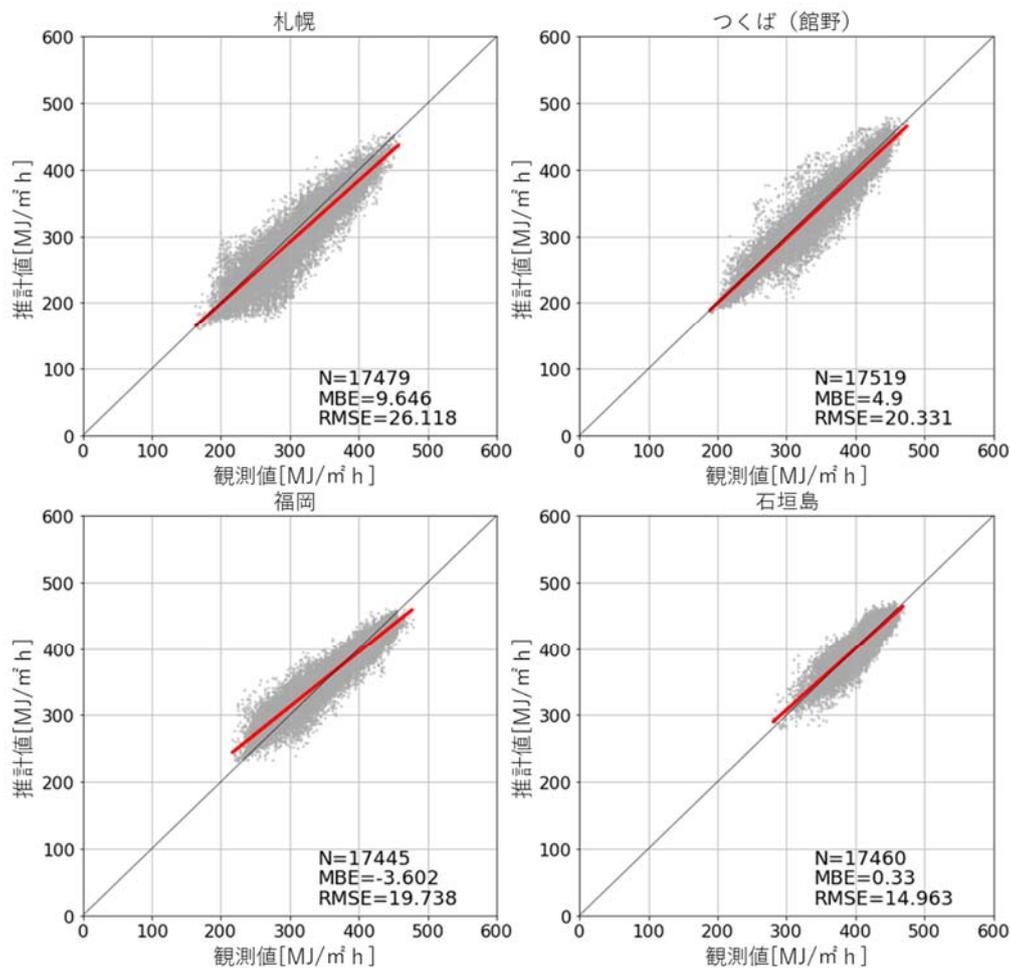


図3-12 推計値と観測値の関係

MBE が-4~10、RMSE が 20 程度とばらつきはあるものの、4 地点とも直線関係がみられ、高い精度で推計ができていたと考えられた。

これらのことから、MSM に不足する大気放射量については、MSM から得られる雲量、湿度、降水量を説明変数とした重回帰分析によって補間することとした。

(5) 風向・風速の補間手法の検討

風向・風速についても、距離の重みづけ平均などを用いて空間補間が可能であるか検討した。

1) 距離の重みづけ平均

その他の気象データと同様に、距離の重みづけ平均によって空間補間が可能か検討する。既往の研究⁹⁾において、式(3-17)~(3-18)に示すように、距離の二乗の逆数で重みづけすることで精度よく空間補間できることが示されている。そこで、最寄りのMSMとの単純比較、距離の逆数で重みづけ平均、距離の二乗の逆数で重みづけ平均した場合を比較して、適切な空間補間手法を検討した。距離や使用するMSMの格子点は外気温度など

と同様とした。MSMでは風向風速はu成分(東西軸)とv成分(南北軸)のベクトル風速形式で提供されているため、u成分、v成分それぞれについて空間補間を行ったのちに、ベクトルを合成して360度の風向と風速に換算することとした。

$$x_{wa} = \sum (W_{i2} \times x_i) \quad (3-17)$$

$$W_{i2} = \frac{1}{r_i^2} / \sum_i \frac{1}{r_i^2} \quad (3-18)$$

ここで、

x_{wa} : 距離の重みづけ平均された気象データ

x_i : 格子点 i の気象データ

W_{i2} : 格子点 i の重みづけ係数[-]

r_i : 格子点 i と気象官署の距離[m]

図 3-13~3-14 に札幌の推定方法ごとの推定値と観測高さ補正後の観測値の関係を、図 3-18 に全国から選択した 10 地点の RMSE 及び MBE について示す。いずれの推計方法であっても直線の関係が認められた。また、MBE では-0.9~+0.6[m/s]、RMSE

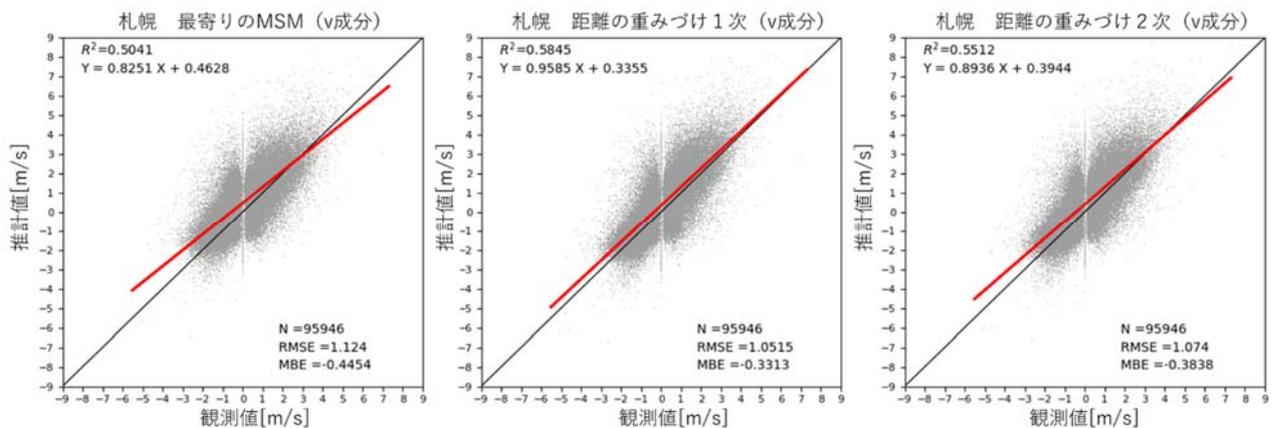


図 3-13 推定方法ごとの推定値と観測値 (u 成分) の関係 (札幌)

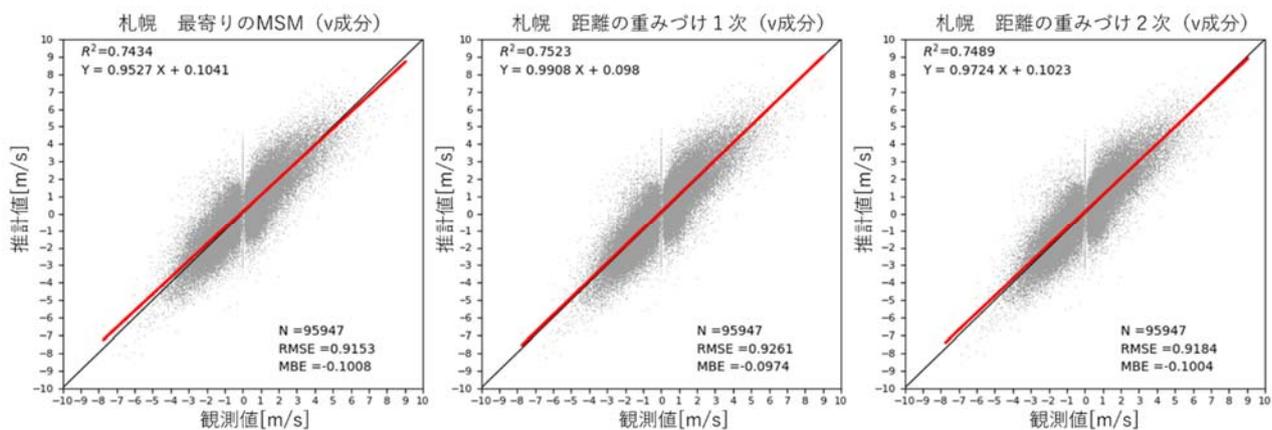


図 3-14 推定方法ごとの推定値と観測値 (v 成分) の関係 (札幌)

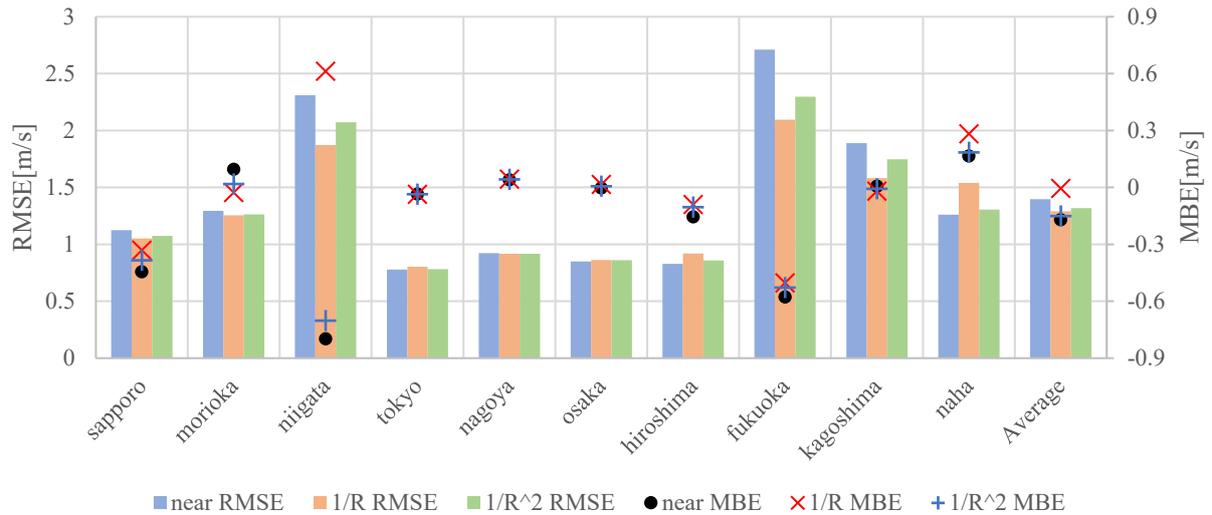


図 3-15 推定方法ごとの MBE および RMSE (ベクトル風速 u 成分)

が平均で 1.3[m/s]程度であった。推計方法の差はわずかであるが、平均値では距離の逆数で重みづけ平均する方法で MBE および RMSE が最小となった。このことから、距離の逆数で重みづけ平均する方法が最適であると考えられた。

続いて、u 成分と v 成分を合成した場合の風速について検討する。単純にベクトル合成をすると、風向は度数表記 (1 周 360°) で表現されるが、一般的に風向・風速は 16 方位に区分した風向・風速が用いられる。そこで、図 3-16 に示すイメージのように、合成後のベクトル風速に最も近い 16 方位の風向 (図の場合では西風) を、補正後の風向とした。また、ベクトル風の方位角と、補正後の風向との角度差から三角関数で補正した値を補正後の風速とした。

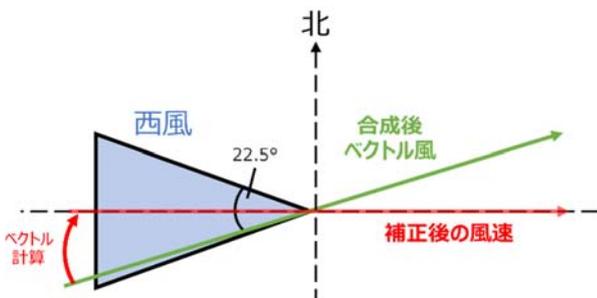


図 3-16 風向補正のイメージ

図 3-17 に札幌の u 成分と v 成分を単純に合成した場合の風速 (風向補正なし) と観測高さ補正後の観測値の関係を、図 3-18 に風向補正ありの風速と観測高さ補正後の観測値の関係を、図 3-

19 に全国から選択した 10 地点の RMSE 及び MBE について示す。

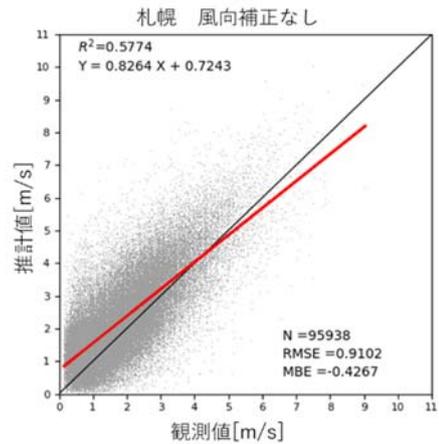


図 3-17 推計値と実測値の比較 単純に合成した場合の風速 (札幌)

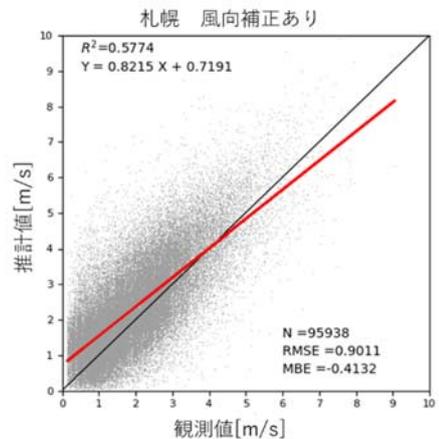


図 3-18 推計値と実測値の比較 風向補正後の風速 (札幌)

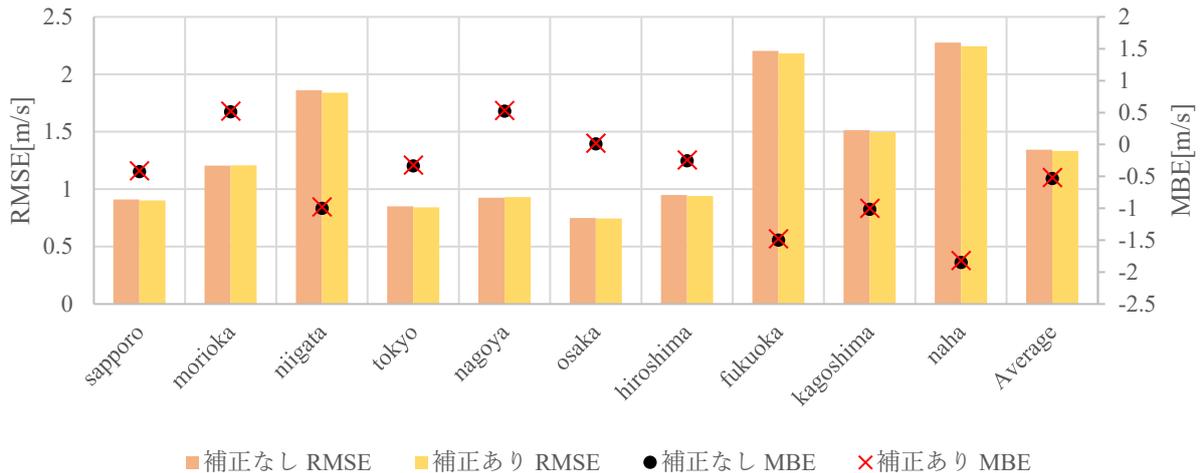


図 3-19 風向補正の有無における MBE および RMSE

差はわずかであるが、風向補正を行うことで RMSE 及び MBE とともに精度が向上している。

これらのことから、距離の重みづけ平均を用いて推計したベクトル風速を、合成後、最も近い 16 方位に風向補正する方法で、風向・風速を空間補間することとした。

[参考文献]

- 1) 気象業務センター 地上アメダス 1 分値・10 秒値データ, <http://www.jmbc.or.jp/jp/offline/hd0140.html>, (参照 2021-03-10)
- 1) 若山他, 推計気象分布について, 気象庁, 測候時報, 第 87 巻, pp1-18, 2020
- 2) 大野, 実況値と数値予報、平年値を組み合わせたメッシュ気温・降水量データの作成, 生物と気象, 16 巻 p.71-79, 2016
- 3) T. Vincenty, DIRECT AND INVERSE SOLUTIONS OF GEODESICS ON THE ELLIPSOID WITH APPLICATION OF NESTED EQUATIONS, Survey Review XXIII (176), 88-93, 1975
- 4) Fritz Kasten and Andrew T.Young : Revised optical air mass tables and approximation formula, Applied Optics, Vol.28, 4735-4738, 1989
- 5) 山崎均:日照環境のための基礎計算式, 日本建築学会論文報告集, 288(0), 139-147, 1980
- 6) 赤坂裕: 日射量の計算と日射直散分離・合成, 『建築環境学 1』木村建一 編 第 1 章, pp.13-17, 丸善 (東京), 1992
- 7) 近藤純正, 水環境の気象学, 1994
- 8) Kondo J, Analysis of solar radiation and downward long-wave radiation data in japan, 1967
- 9) 小泉他, 任意地点の地表の風向・風速の推定 : 平地を対象とした空間内挿法, 日本火災学会論文集, 59(1), 25-33, 2009-02-20

4. 気象データの構築

前章では、MSM の気象データに基づいて、外気温度、絶対湿度、水平面全天日射量、大気放射量及び風向・風速を推計・補間する手法を検討した。本章では、これらの手法に従い北海道全域を対象に 1 km メッシュ、1 時間別、10 年間分程度の気象データセットを作成する。さらに、今後更新される気象データについても継続的に更新ができるように計算プログラムを作成する。

(1) 気象データ構築プログラムの概要

気象データの構築に必要な計算は大きく分けて 3 つのステップに分かれる。まず、第 1 ステップとして、grib2 (バイナリ) 形式で公開されている MSM データから、北海道および日本域を計算するために必要な格子点データを抽出する。続いて、第 2 ステップとして抽出したデータに不足する気象データ (日射量および大気放射量) を推計し、MSM 格子点ごとにデータを保存する。最後に、第 3 ステップとして、概ね 5 km 間隔で存在する MSM 格子点位置の気象データから 1 km メッシュ間隔に空間補間する。なお、第 3 ステップの空間補間では、緯度経度だけではなく、当該位置の標高データが必要にある。そこで、基準地域メッシュ (約 1 km メッシュ) ごとの平均標高をもとに空間補間を行うこととした。

(2) 計算結果とデータの特徴の把握

計算結果とそのデータの特徴を把握するために、気象官署の位置における計算結果と気象庁の観測値を比較した。図 4-1 に、計算の一例として札幌の推定値と観測値の累積分布関数を示す。この両者の累積分布関数が近いほど、計算期間における気象の生

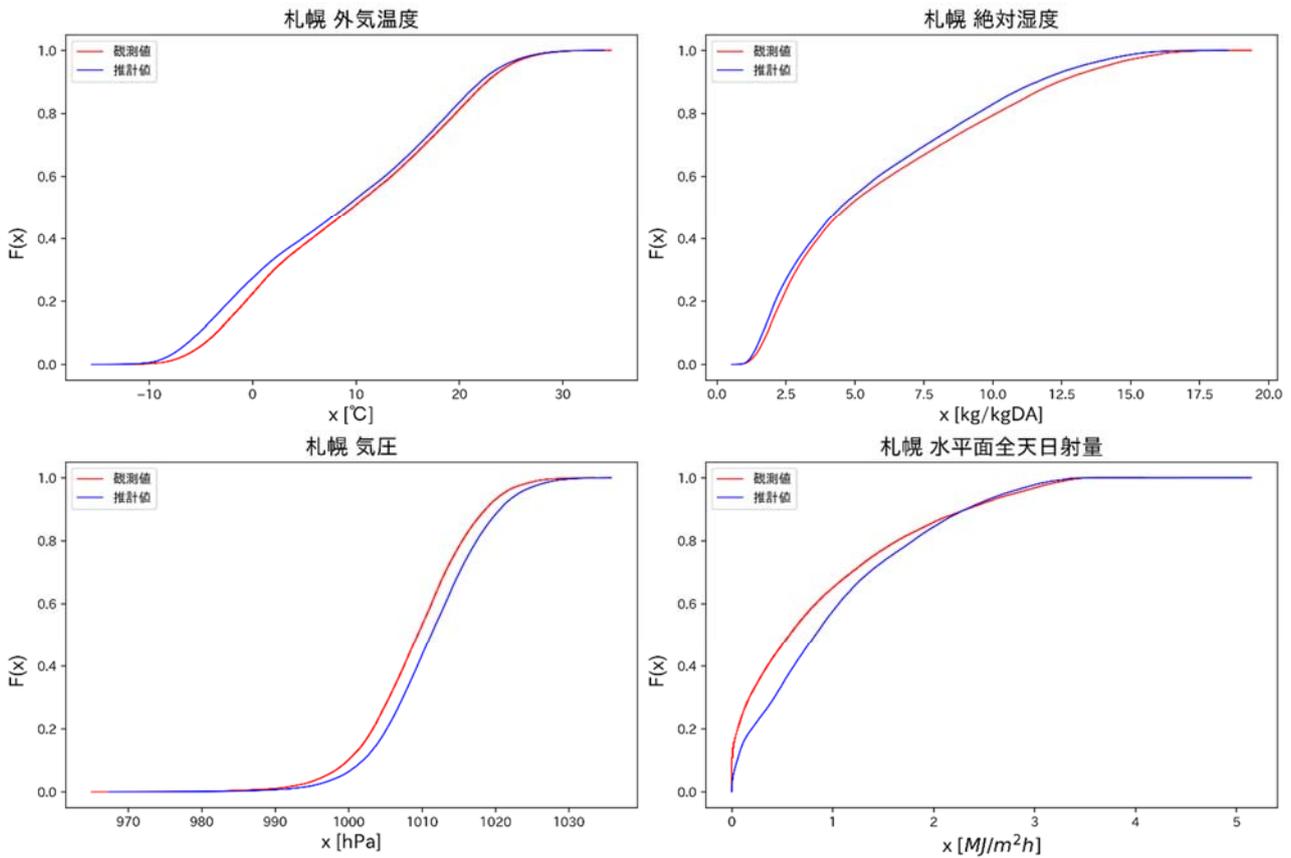


図 4-1 気象要素ごとの推定値と観測値の累積分布関数（札幌）

じ方が似ていると考えられる。

気象要素ごとに傾向は異なるが、概ね一致していると考えられる。しかしながら、外気温度では推計値に比べて観測値のほうが高温側の頻度が高いなどのように、推計した気象データの特徴もみられる。外気温度の場合においては、MSM は過去の気象データに基づく予報値であるため、近年に見られる過去最高気温などの経験のない気象条件を推測できないためであると考えられる。

まとまった期間の推計データセットが構築されることに意義があるため、必ずしも観測値と一致する必要はないが、そのような特性があることを把握したうえで本データを使用する必要がある。

図 4-2～4-6 に計算結果の例を示す。このように、直近 10 年程度の期間について、1 時間別、1 km メッシュごとの気象データを利用することが可能である。また、今後気象データが更新されても、非常に簡単に新たな気象データを計算することが可能である。これらのデータセット及びプログラムは、建築の用途に限らず、各種領域で活用可能な非常に意義のある気象データであると考えられる。

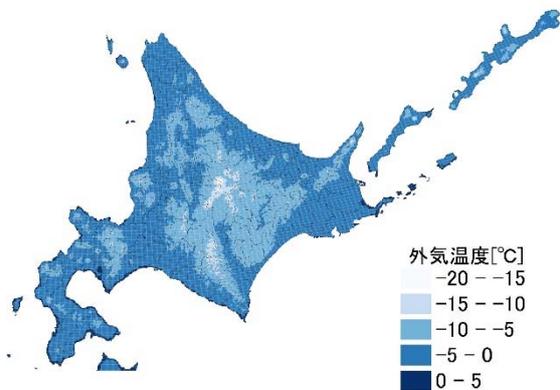


図 4-2 外気温度（2011/12/21 12:00）

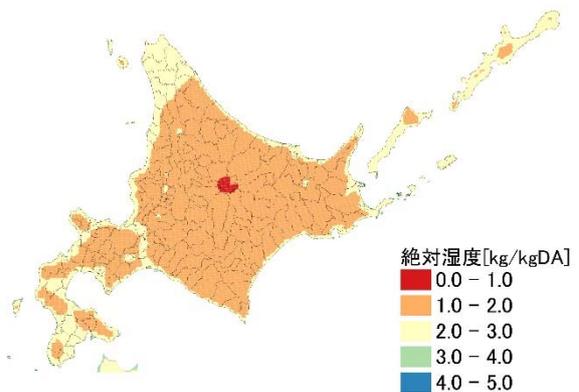


図 4-3 絶対湿度（2011/12/21 12:00）

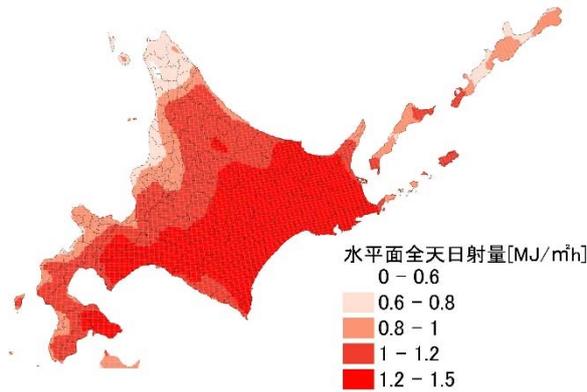


図 4-4 水平面全日射量 (2011/12/21 12:00)

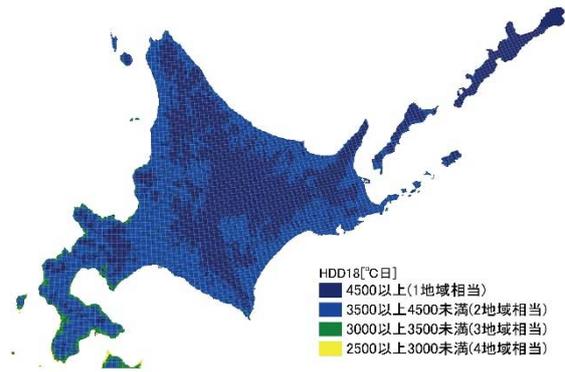


図 5-1 暖房度日に基づく区分

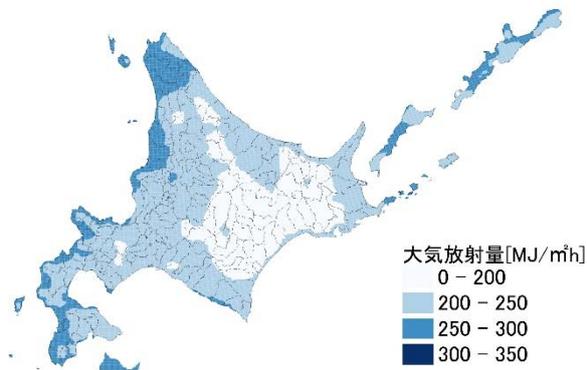


図 4-5 大気放射量 (2011/12/21 12:00)

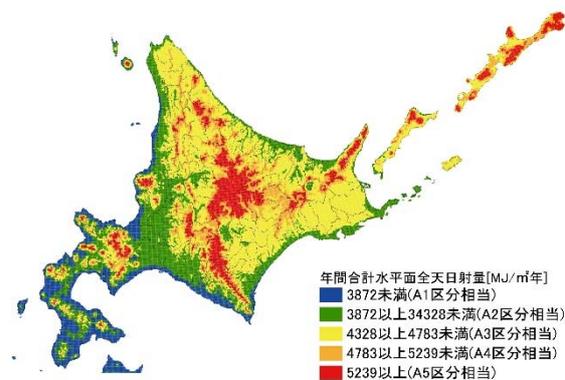


図 5-2 年間合計全日射量[MJ/m²]に基づく区分

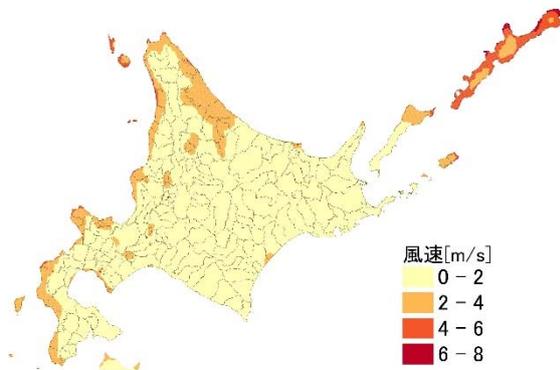


図 4-6 風速 (2011/12/21 12:00)

5. 目的・用途に応じた地域区分の提案

本章では、4章で作成したデータセットを用いて、建築物省エネ法（以下、通称である「省エネ基準」という）において活用されている地域の区分について試作を試みた。作成方法は、国土交通省監修の「平成25年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説 II住宅」¹⁾の第11章の区分の閾値を参考に、メッシュごとの気象データに基づいて設定した。図5-1に暖房度日に基づく地域の区分を、図5-2に年間合計全日射量に基づく地域の区分を示す。

現行の省エネ基準では、市町村単位で地域の区分が定められているが、標高などの地形の影響を考慮した、より詳細な区分となっていることがわかる。

本研究では人口などの気象データ以外の情報に基づく地域区分まで検討できなかった。今後の課題として、人口などの情報も活用した地域区分やマップの作製を行う必要がある。また、寒中コンクリートの施工に活用できる温度マップや、当該危険度マップの作成。エネルギー賦存量マップなどの様々な用途に活用可能な地域区分やポテンシャルマップの作成などを行うことで、より多くの人に活用して貰えると考えられる。

[参考文献]

- 1) 国立研究開発法人建築研究所，平成25年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説 II住宅，株式会社 連合印刷センター，2013

6. まとめ

本研究の成果は次のとおりである。

- ・既存の気象データの調査・整理として、既存の気象データを調査・整理した。その結果から、空間的・時間的に細やかな気象データセット（温度・湿度・日射量・風向・風速等）を作成するための基礎データとして、MSM が適していることを明らかにした。
- ・近隣の気象データに基づく補間手法に関する検討として、外気温度、絶対湿度、風向・風速の補間手法を検討し、提案した。
- ・MSM に不足する水平面全天日射量、大気放射量について、外気温度や雲量等の気象データに基づいて推計する方法を検討し、提案した。
- ・気象データの構築として、MSM のデータに基づいて、10 年程度、1 時間別、約 1 kmメッシュごとの気象データセットを作成した。また今後継続的にデータセットを更新可能なプログラムを作成した。
- ・目的・用途に応じた地域区分の提案として、省エネ基準で使用される地域の区分を試作した。

本研究で作成されたこれらの気象データセットや地域の区分等は道内において建築物の設計や技術開発等を行う事業者にも活用されることが考えられる。

気象データは時々刻々と更新されるため、継続的にデータを更新していく必要がある。そのため、これらのデータを体系的に管理していく方法を引き続き検討していく。また、本研究では整備できていないが、有用なデータや計算処理（例えば、照度、積雪などのデータや、日射量の直散分離機能など）についても、検討していく。

最後に、本研究は令和元年度より 2 カ年にわたって行った建築基準整備促進事業 E12 「エネルギー消費性能の評価の前提となる気候条件の詳細化に向けた検討」と並行して実施した研究であり、一部検討内容は、上記事業の検討成果を活用させていただいている。特に、水平面全天日射量および大気放射量の推計手法に関して、鹿児島大学の二宮秀與教授、徳満涼輔様より多大な協力を得た。ここに記し、謝意を表します。