

## 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

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・建築性能試験センター

鹿児島大学大学院 理工学研究科 二宮研究室

# 1.事業目的と概要

## ▶ 背景

現在、建築関連分野で一般的に利用される気象データは約21km間隔で設置されている気象庁の観測地点のデータに基づいている



建設地の気候条件を加味した省エネ技術等を適切に評価するためには不十分

## ▶ 目的

建設地の気候条件を考慮した省エネ評価に用いる設計用気象データおよびポテンシャルマップを検討・提案する。

気温、湿度、日射量、大気放射量、風向、風速を対象に

期間：10年程度、間隔：1kmメッシュ程度の時刻別データを整備する

# 1.事業目的と概要

## 事業のフロー

### (イ)気候データの整理

R1

#### ①既存データの整理

- ・既存データの調査
- ・欠測／異常値の補間



#### ②設計用気候データの作成

(温湿度、日射量)

- ・方法の検討
- ・プログラムの構築及び検証

結果を反映

R2

(大気放射量)

- ・方法の検討

(風向、風速)

- ・地形等を考慮した風向、風速の推定

(地盤地中熱)

- ・積雪、蒸発を考慮した地中温度の推計

### (ロ)ポテンシャルマップの作成

#### ①作成すべきマップの検討

- ・省エネで考慮すべき気候条件の整理

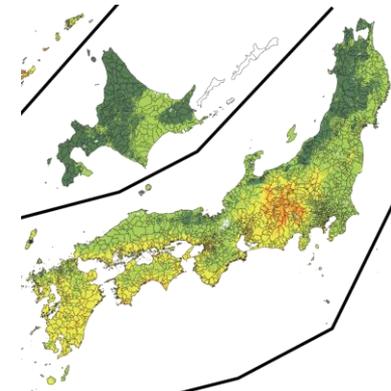


#### ②プログラム開発

- ・プログラムの検討



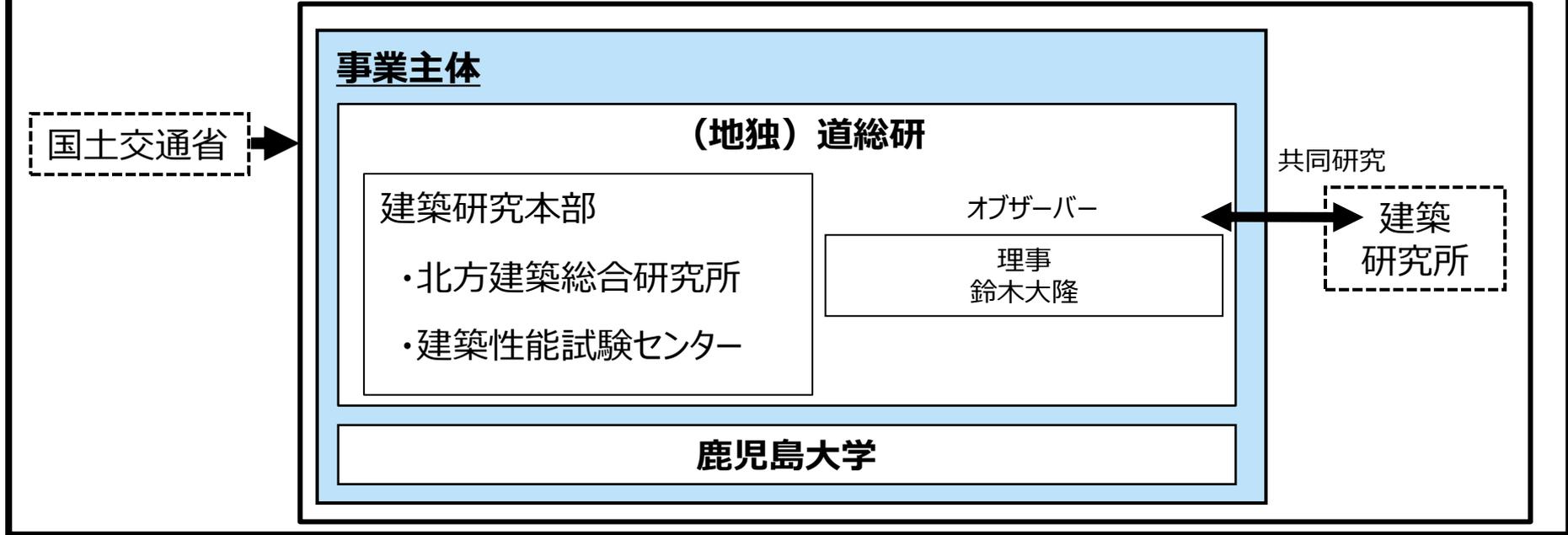
#### ③ポテンシャルマップの作成



# 1.事業目的と概要

## ▶ 事業実施体制

全体統括：北方建築総合研究所 地域研究部 環境防災G 専門研究員 月館司



調査内容と分担業務の内容	(地独) 北海道立総合研究機構 建築研究本部		鹿児島大学
	北方建築総合研究所	建築性能試験センター	
(イ) 気候データの整理	●		●
(ロ) ポテンシャルマップの作成	●	●	

# 1.事業目的と概要

## ・ R1年度の成果（抜粋）

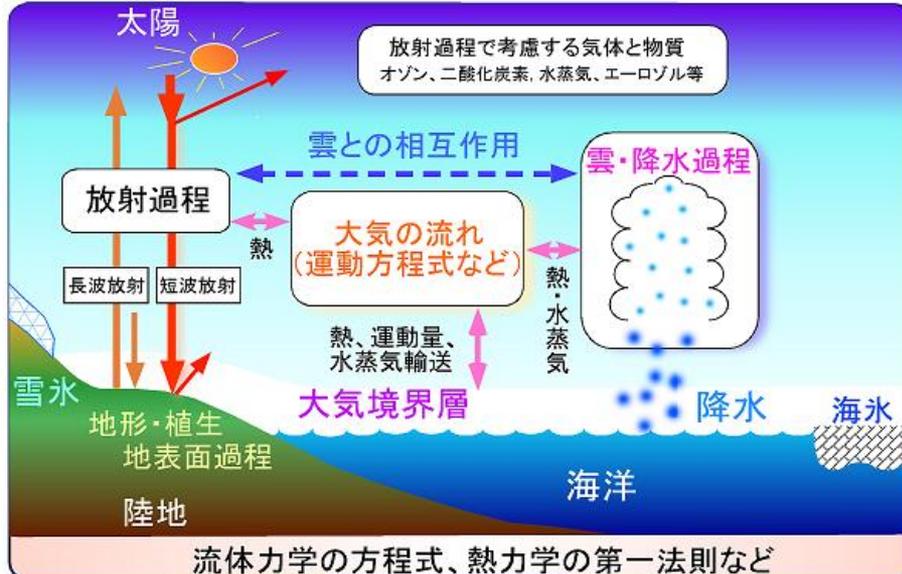
数値予報モデル … いわゆる天気予報値

メソモデル（MSM） : 5kmメッシュ、1時間間隔で整備

対象の気象要素

※日射量は2017年12月5日から一般に提供開始

海面更正気圧、地上気圧、**風ベクトル（U, V）**、**気温**、**相対湿度**、降水量、  
全雲量、上層雲量、中層雲量、下層雲量、**日射量**※



MSMを基に1kmメッシュに  
空間補間する手法を検討

数値予報モデルにおいて考慮されている過程（出典：気象庁HP）

# 1.事業目的と概要

## ▶ R1年度の成果（抜粋）

- ・MSMを接続した基本となるデータセット（2007～2020年の時別値、5kmメッシュ）
- ・MSMに基づく気象データセット（2009～2018年の時別値、1kmメッシュ）

対象の気象要素

気温、絶対湿度、日射量

- ・設計用気象データセット（2009～2018年の統計値、1kmメッシュ）

対象の気象要素

日平均気温、日平均絶対湿度、日積算日射量の10年平年値

- ・ポテンシャルマップ

対象の気象要素

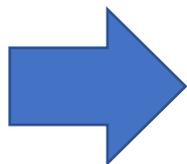
暖房度日18-18に基づく区分、年間合計全天日射量に基づく区分

# 気象データセット作成の流れ

**気象庁作成  
データ**  
MSM  
データ  
バイナリ  
10年分  
(約2,000GB)



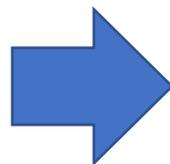
- データの抜粋
- 不足データ推計
  - ・絶対湿度
  - ・日射量
  - ・大気放射量



MSM  
データ  
CSV  
10年分  
(約84GB)  
約16,700地点  
約5MB/地点



- メッシュ化  
(空間補間)



1kmMesh  
1時間別データ  
CSV  
10年分  
(約1,900GB)  
約380,000地点  
約5MB/地点



- 設計用気象  
データの計算
  - ・EA方式
  - ・平年値など



1kmMesh  
設計用気象データ  
CSV  
1年分  
(約190GB)  
約380,000地点  
約0.5MB/地点



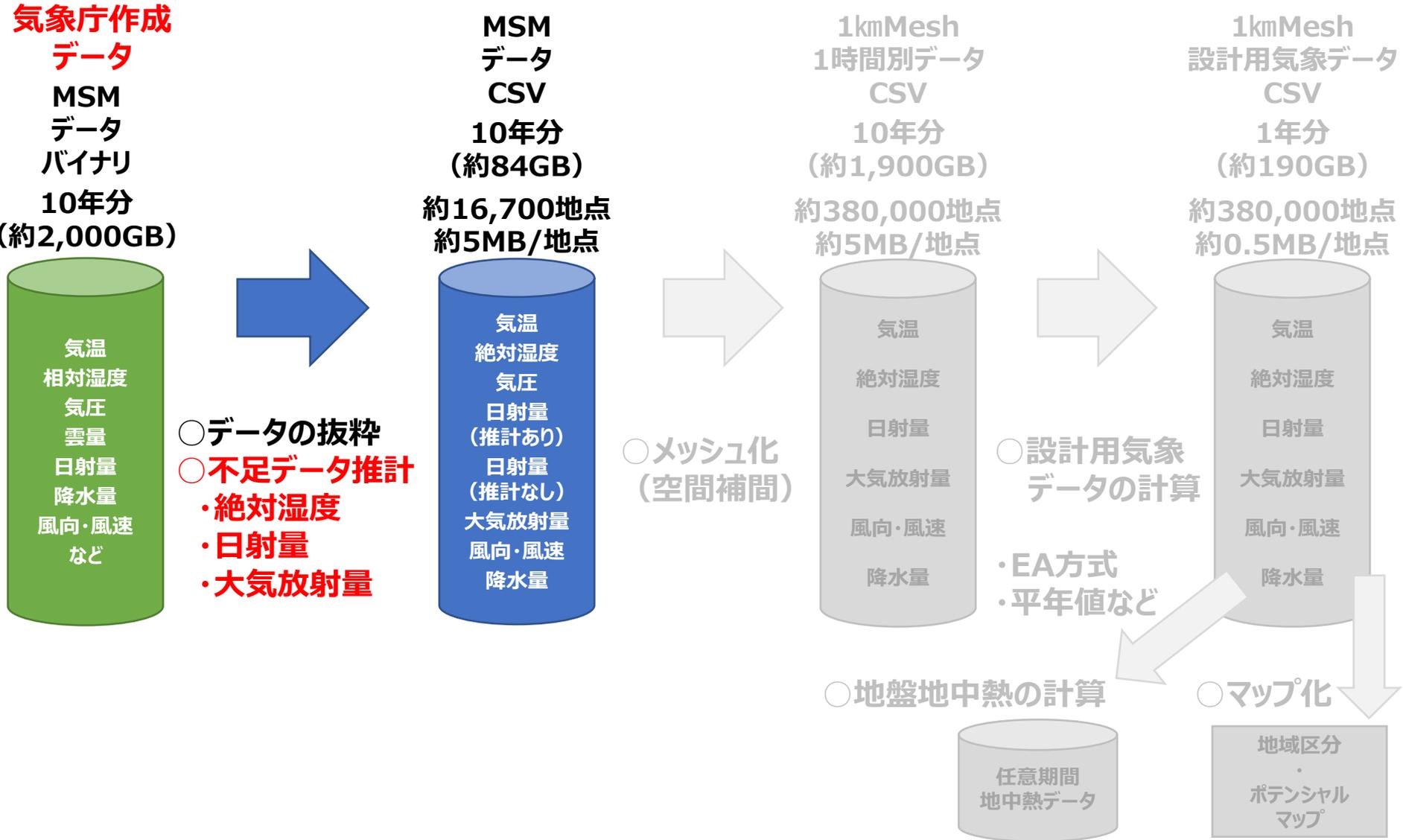
- 地盤地中熱の計算



- マップ化



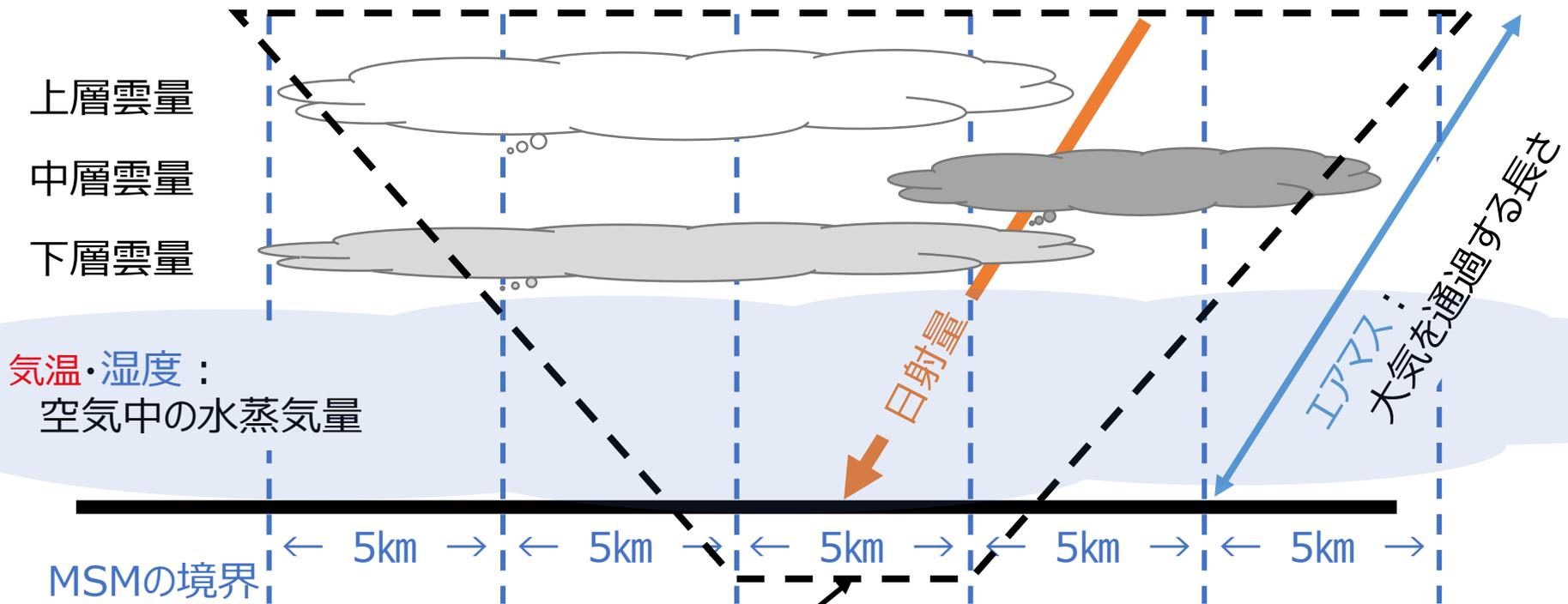
# 2.MSMに不足するデータの推計



## 2.MSMに不足するデータの推計

- ▶ **絶対湿度** … 相対湿度、地上気圧から算出 (R1 実施済み)
- ▶ **日射量** … MSMの雲量、気温、湿度、エアマスから日射量を推計する重回帰式を提案 (R1に追加検討)

### 推計のイメージ



**25kmの範囲の雲量を使用した推計が最も精度が高かった**

## 2.MSMに不足するデータの推計

- ▶ **絶対湿度** … 相対湿度、地上気圧から算出 (R1 実施済み)
- ▶ **日射量** … MSMの雲量、気温、湿度、エアマスから  
日射量を推計する重回帰式を提案 (R1に追加検討)

日射量を推計する重回帰式※1 ※2

$$TH/THO = a \cdot C_L + b \cdot C_M + c \cdot C_H + d \cdot AM + e \cdot T + f \cdot \varphi + g$$

この時、

$TH$ :全天日射量[ $MJ/m^2$  ]、 $THO$ :大気外水平面日射量[ $MJ/m^2$  ]、 $AM$ :大気路程[-]  
 $C_L$ :下層雲量[-]、 $C_M$ :中層雲量[-]、 $C_H$ :上層雲量[-]、 $T$ :気温[ $^{\circ}C$ ]、 $\varphi$ :湿度[%]  
 $a, b, c, d, e, f, g$ :係数

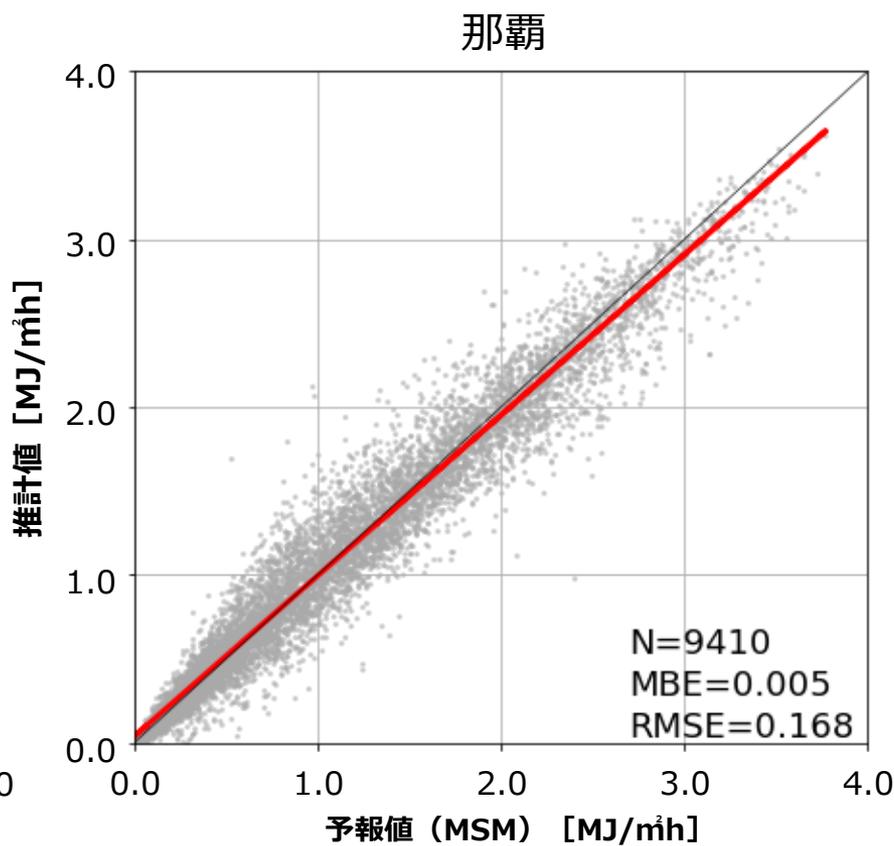
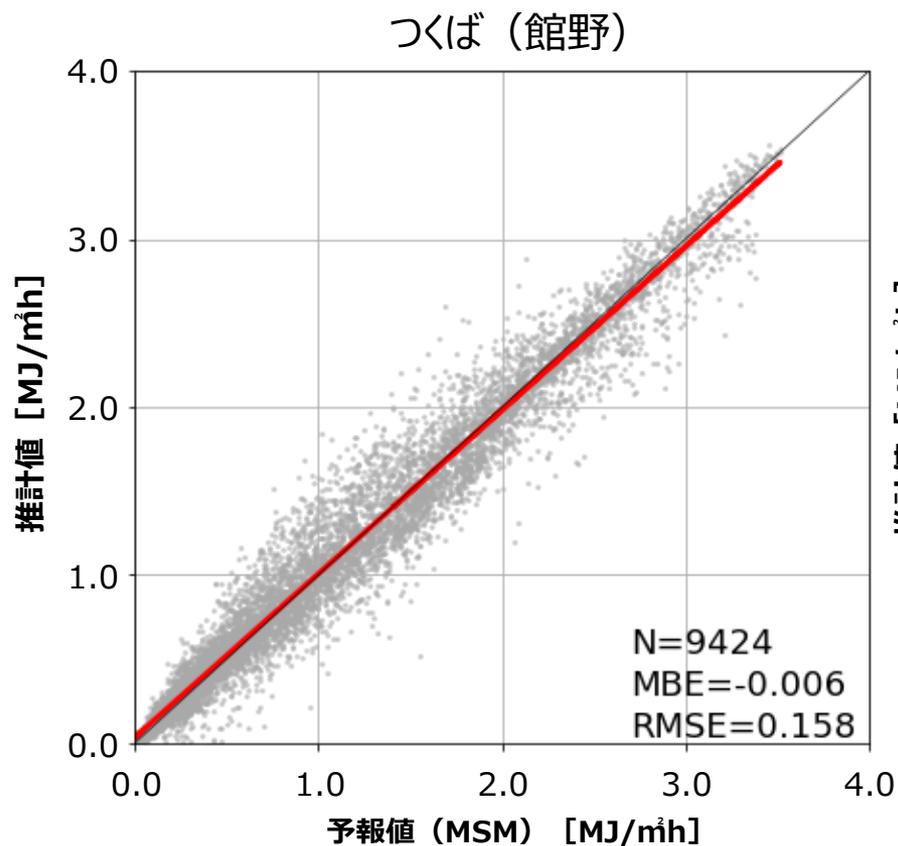
- ※1 MSMの雲量は100分率で公開、重回帰分析をする際には0～1への換算値を使用
- ※2 前時間からの積算値である日射量と瞬時値である気温などとは生じるタイミングが異なるため、瞬時値については前時間との平均値を使用

# 2.MSMに不足するデータの推計

## ▶ 日射量の推計結果

気象庁予報値 (MSM) と回帰式からの推計値の比較 (散布図)

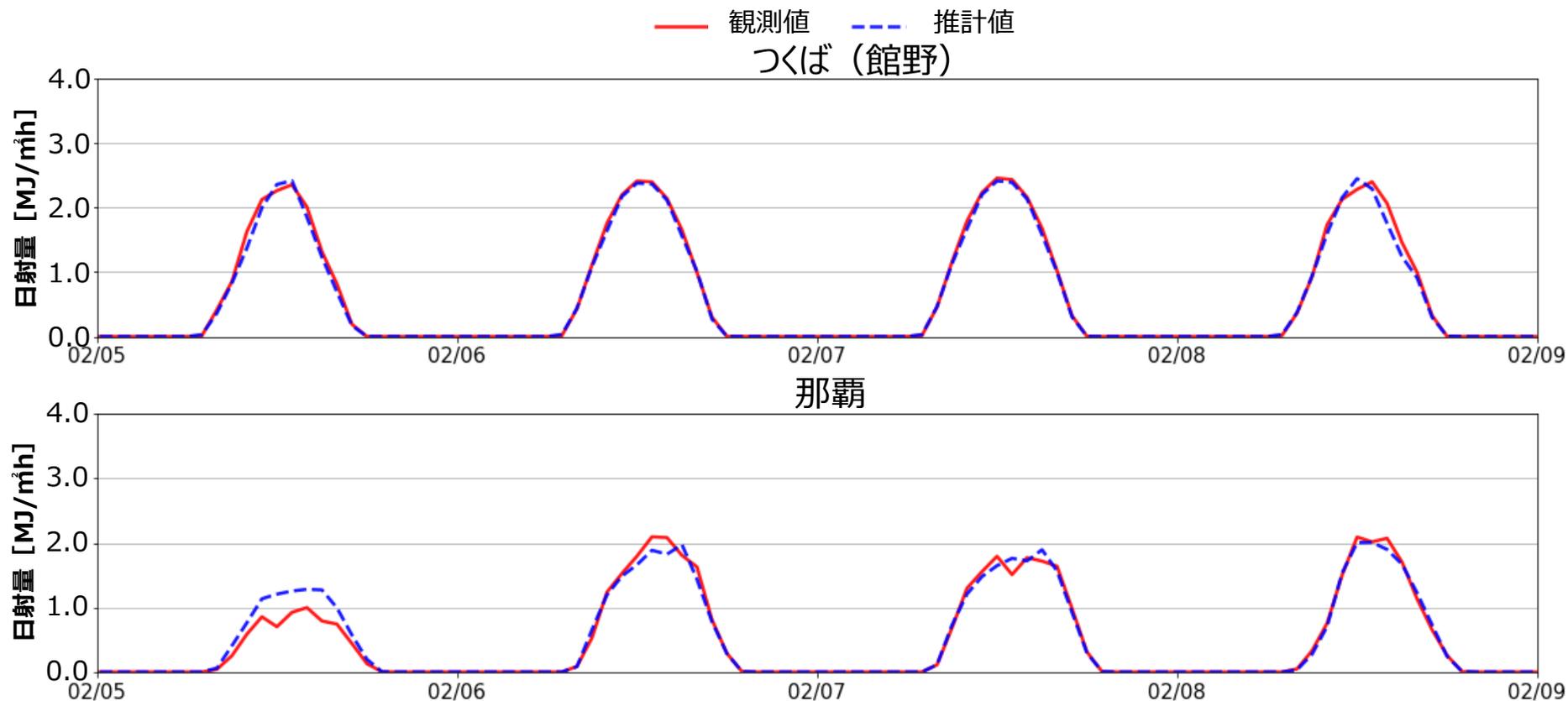
RMSE : 二乗平均平方根誤差 MBE : 平均バイアス誤差



# 2.MSMに不足するデータの推計

## ▶ 日射量の推計結果

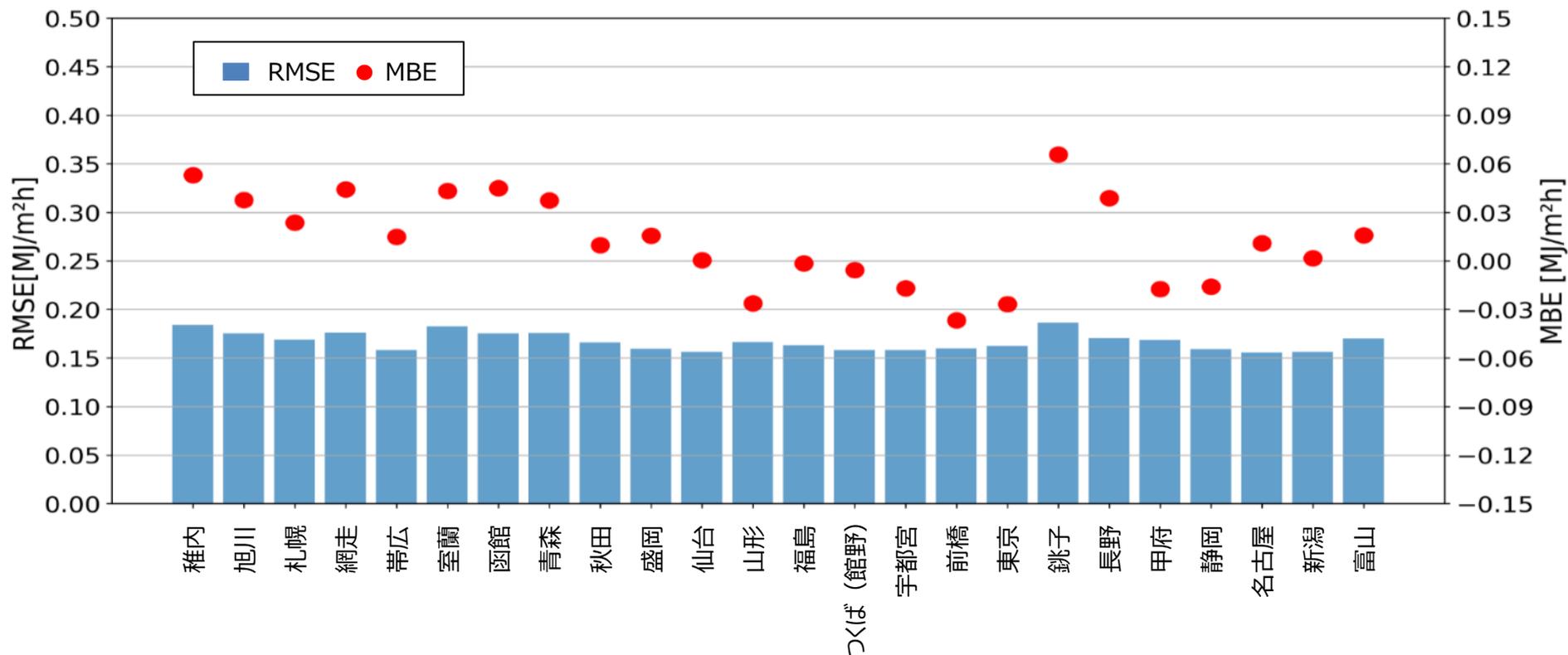
気象庁予報値 (MSM) と回帰式からの推計値の比較 (時系列)



# 2.MSMに不足するデータの推計

## ▶ 日射量の推計結果

気象庁予報値 (MSM) と回帰式からの推計値の比較 (統計値)



RMSE : 0.20MJ/m<sup>2</sup>h程度、MBE : 0.07MJ/m<sup>2</sup>h程度



高い精度で推計が可能 日射量データの存在しない2017以前も使用可能

## 2.MSMに不足するデータの推計

- ▶ **大気放射量** … 大気放射量に影響する**雲量の関数C**を推計する重回帰式を提案

近藤の式

$$\text{大気放射量} : L_d = \sigma T^4 \left[ 1 - \left( 1 - \frac{L_{df}}{\sigma T^4} \right) C \right]$$

この時、

$L_{df}$ :快晴時の下向き大気放射量[MJ/m<sup>2</sup>h]、 $\sigma$ :Stefan-boltzman定数[W/(m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>)]

$T$ :気温[K]、 $C$ :**雲量の関数**

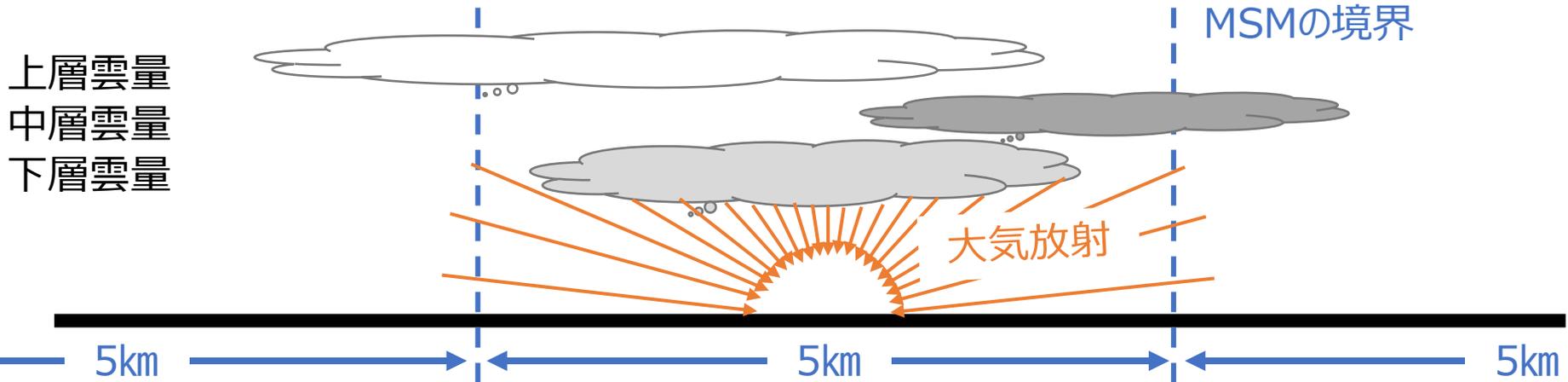
**雲量の関数C** ⇒ C = 1で快晴 大気中の水蒸気量や雲量によって定まる

## 2.MSMに不足するデータの推計

- ・ **大気放射量** … 大気放射量に影響する**雲量の関数C**を推計する重回帰式を提案

推計のイメージ

半球状の範囲に見える雲の量に影響する



**降雨無** : 雲底高度 = **高**    **降雨有** : 雲底高度が = **低**    ⇒ 場合分けする

**低い雲ほど影響が大きい** ⇒ 形態係数で重みづけする

(雲底高度を上層雲量 : 6km、中層雲量 : 2km、下層雲量 : 0.5kmと仮定)

15kmの範囲の雲量を使用した推計が最も精度が高かった

## 2.MSMに不足するデータの推計

- ・ 大気放射量 … 大気放射量に影響する雲量の関数Cを推計する重回帰式を提案

降雨無

$$C = (U_d + e \cdot V_d) \cdot C_L + (W_d + e \cdot X_d) \cdot \overline{C_M} + (Y_d + e \cdot Z_d) \cdot \overline{C_H}$$

降雨有<sup>※</sup>

$$C = (U_p + e \cdot V_p) \cdot C_L + (W_p + e \cdot X_p) \cdot \overline{C_M} + (Y_p + e \cdot Z_p) \cdot \overline{C_H}$$

この時、

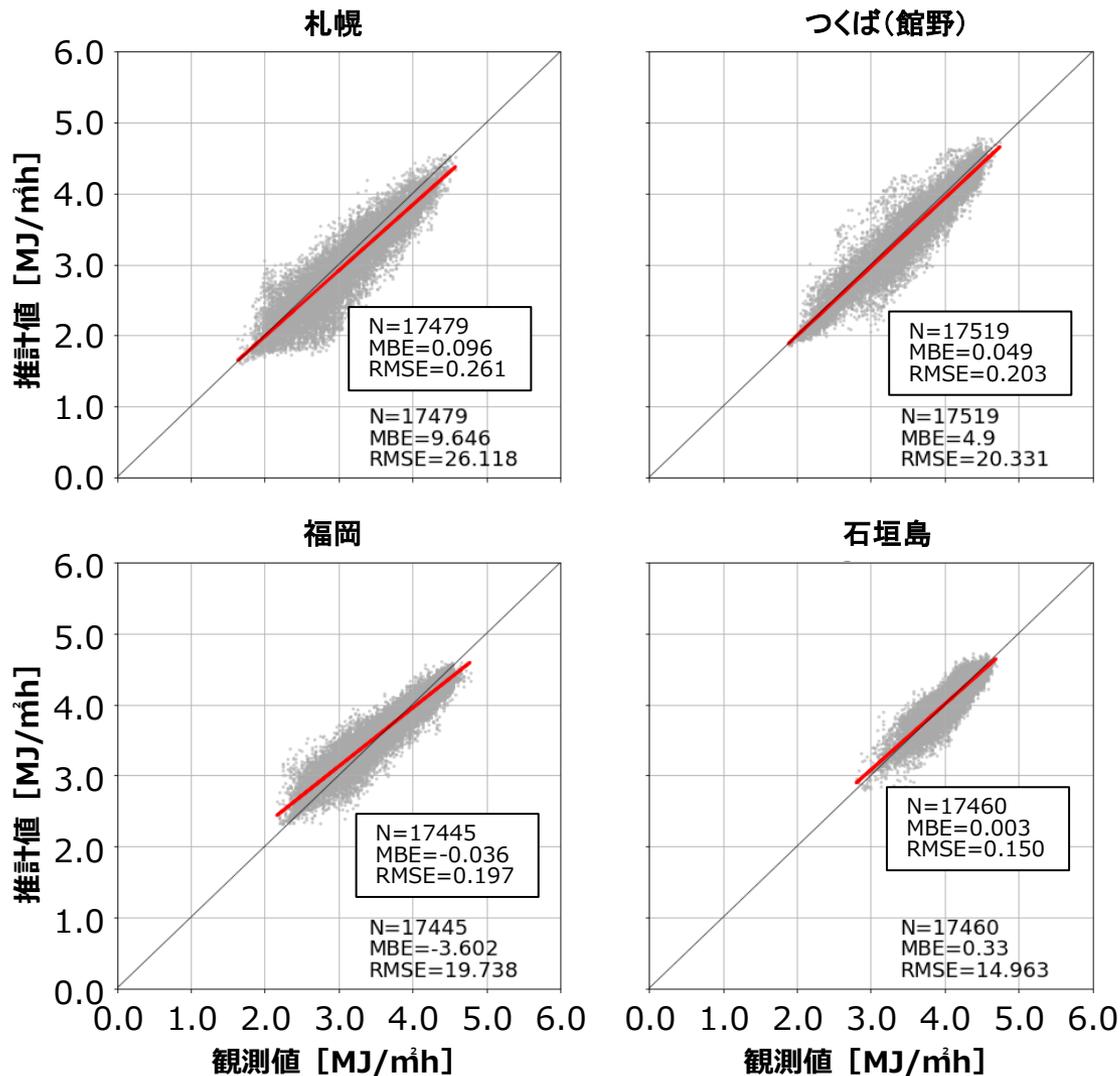
$C_L$ :下層雲量[-]、 $\overline{C_M}$ :中層雲量[-]、 $\overline{C_H}$ :上層雲量[-]、 $e$ :水蒸気圧[hPa]  
 $U, V, W, X, Y, Z$ :係数

※降雨有の場合、低い雲に覆われていると推測されるため、  
5km格子の雲量のみを使用する

# 2.MSMに不足するデータの推計

## 大気放射量の推計結果

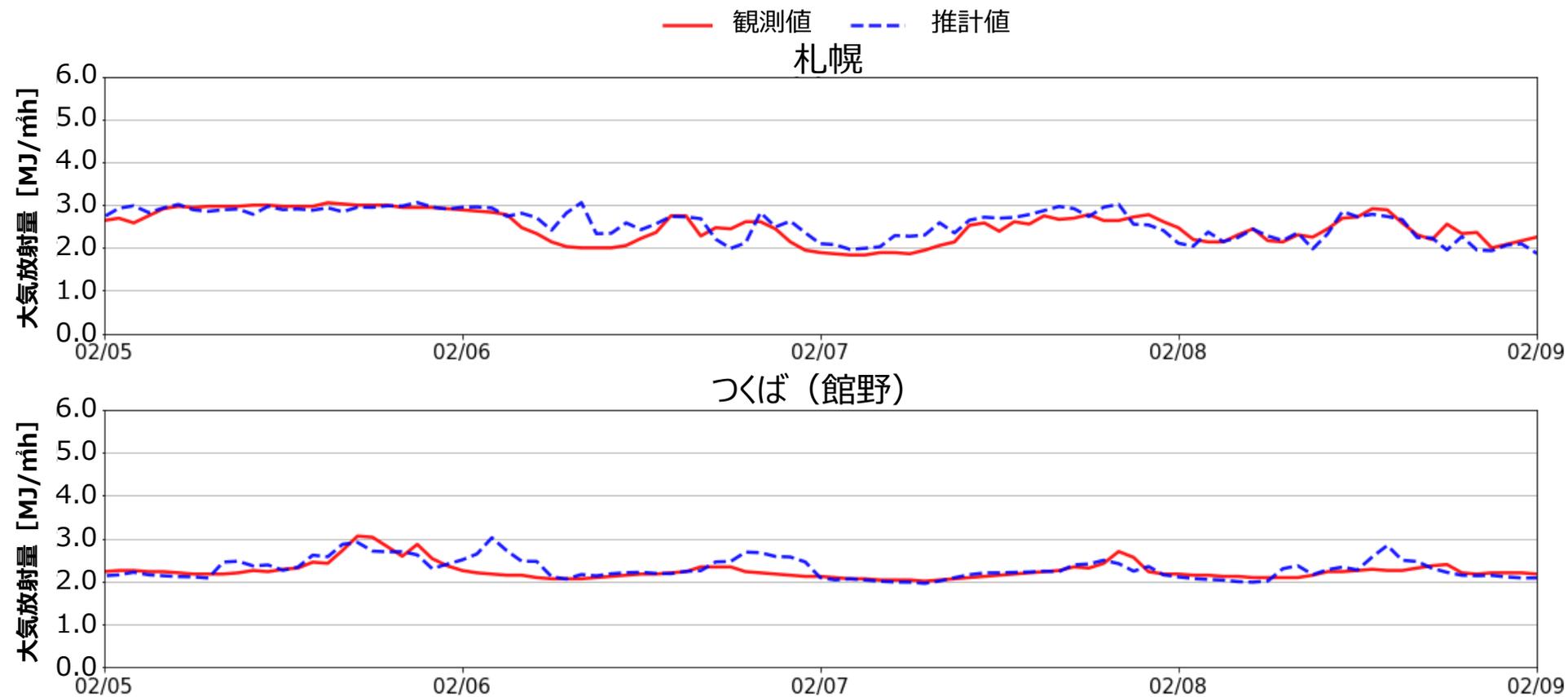
気象庁観測値と回帰式からの推計値の比較（散布図）



# 2.MSMに不足するデータの推計

## ▶ 大気放射量の推計結果

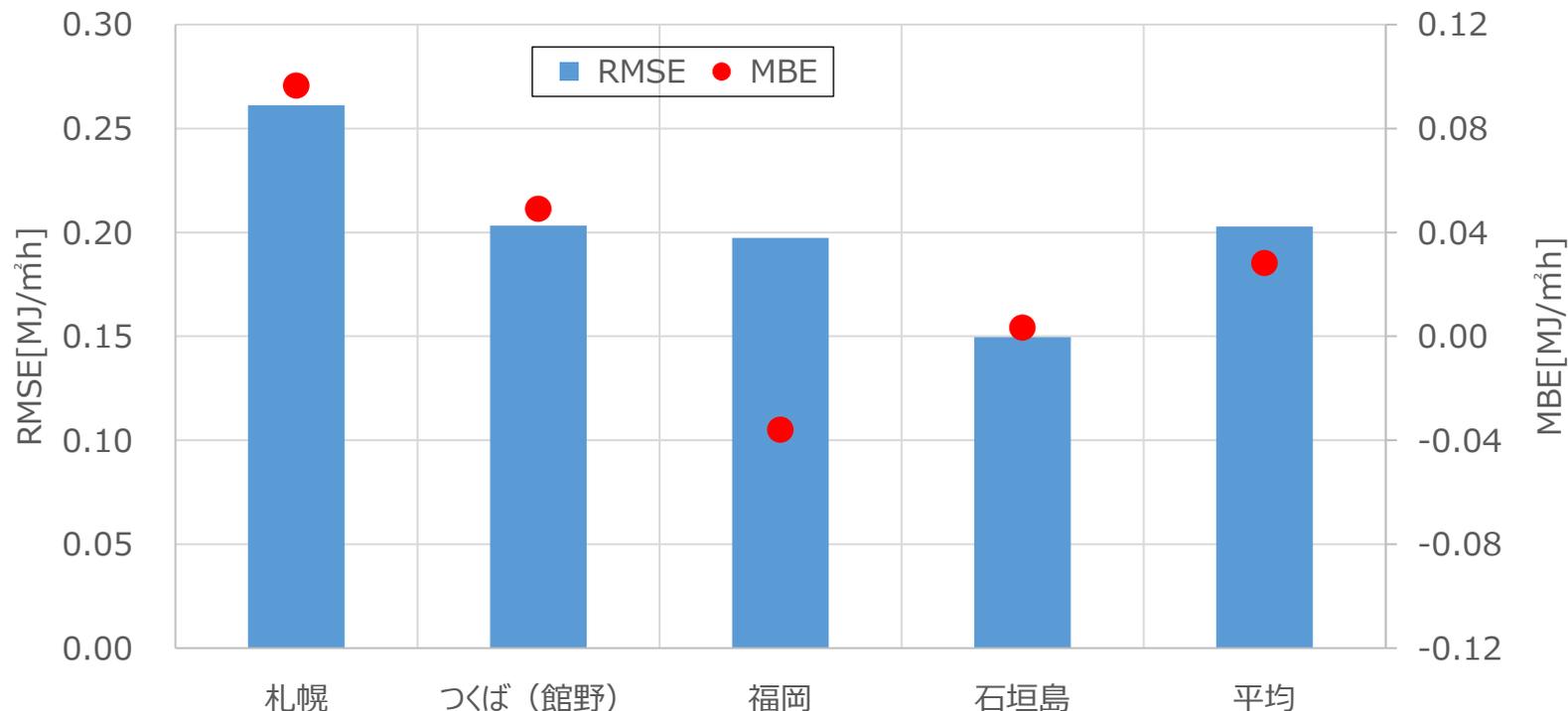
気象庁観測値と回帰式からの推計値の比較（時系列）



## 2.MSMに不足するデータの推計

### ▶ 大気放射量の推計結果

気象庁観測値と回帰式からの推計値の比較（時系列）

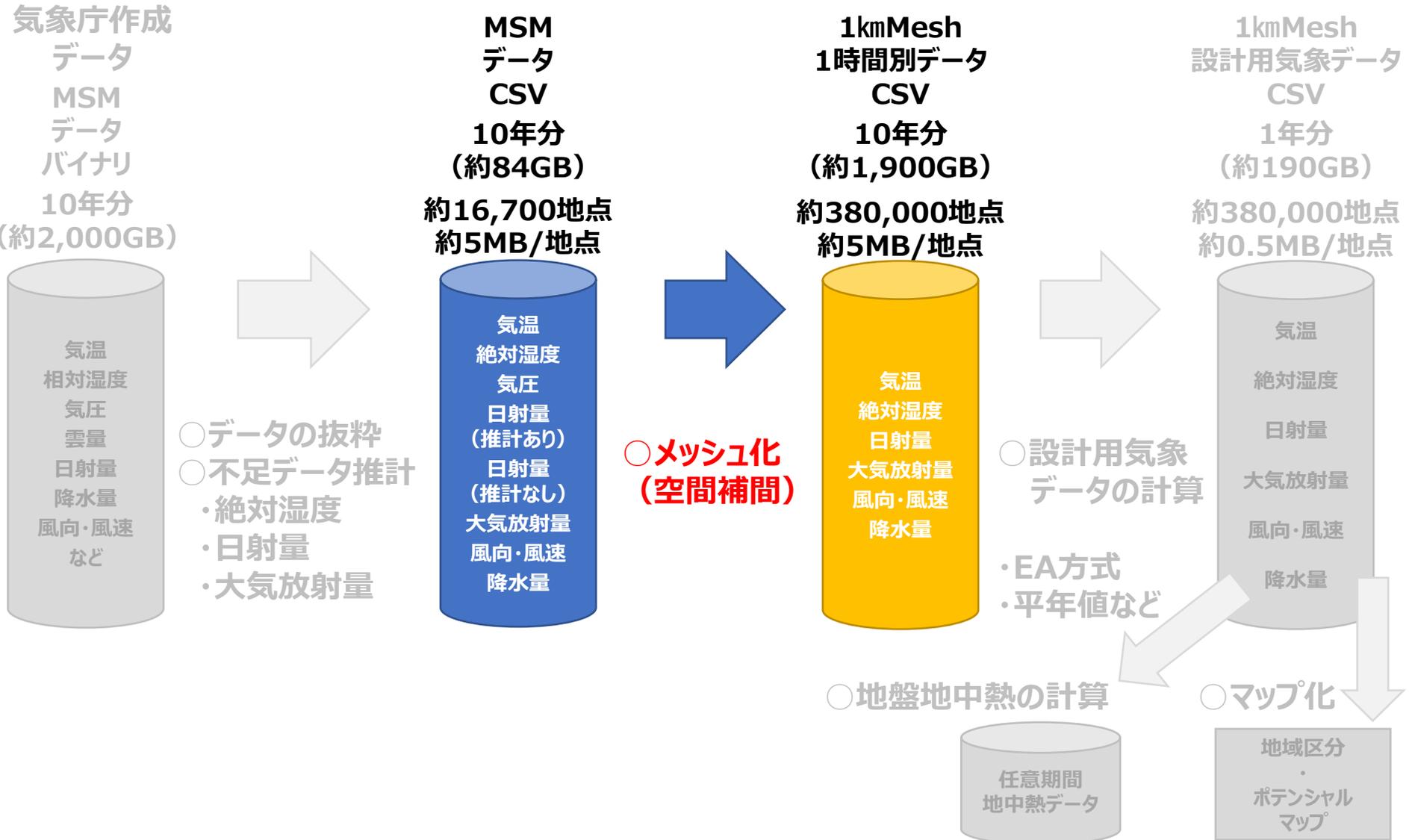


RMSE : 0.2MJ/m<sup>2</sup>程度、MBE : 0.1MJ/m<sup>2</sup>程度



高い精度で推計が可能 大気放射量についても使用可能

# 3.MSM地点データの空間補間



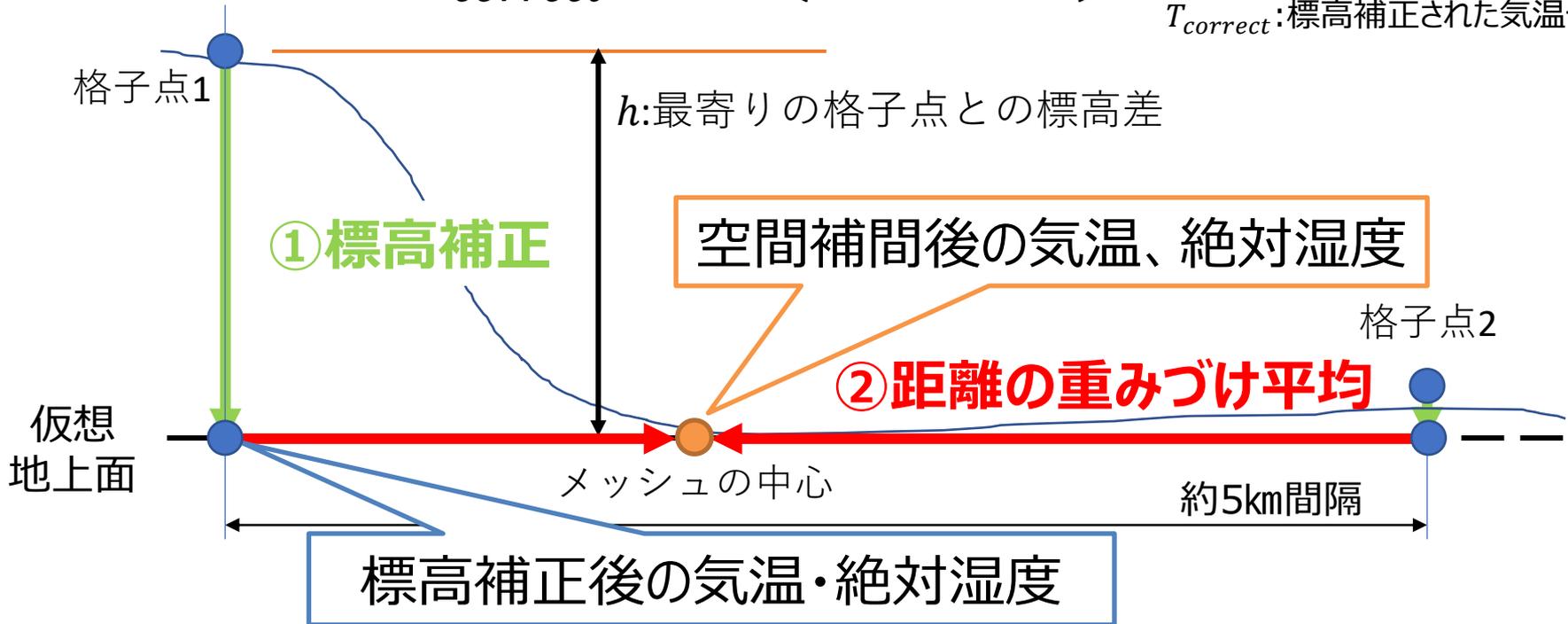
### 3.MSM地点データの空間補間

- ▶ **気温** … 標高補正+距離の逆数で重みづけ平均 (R1 実施済み)
- ▶ **絶対湿度** … 標高補正後の飽和水蒸気量を考慮  
+距離の逆数で重みづけ平均 (R1 実施済み)

計算のイメージ

$$T_{correct} = T + (h \times 0.0065)$$

このとき、  
T: 最寄りの格子点の気温データ  
 $T_{correct}$ : 標高補正された気温データ



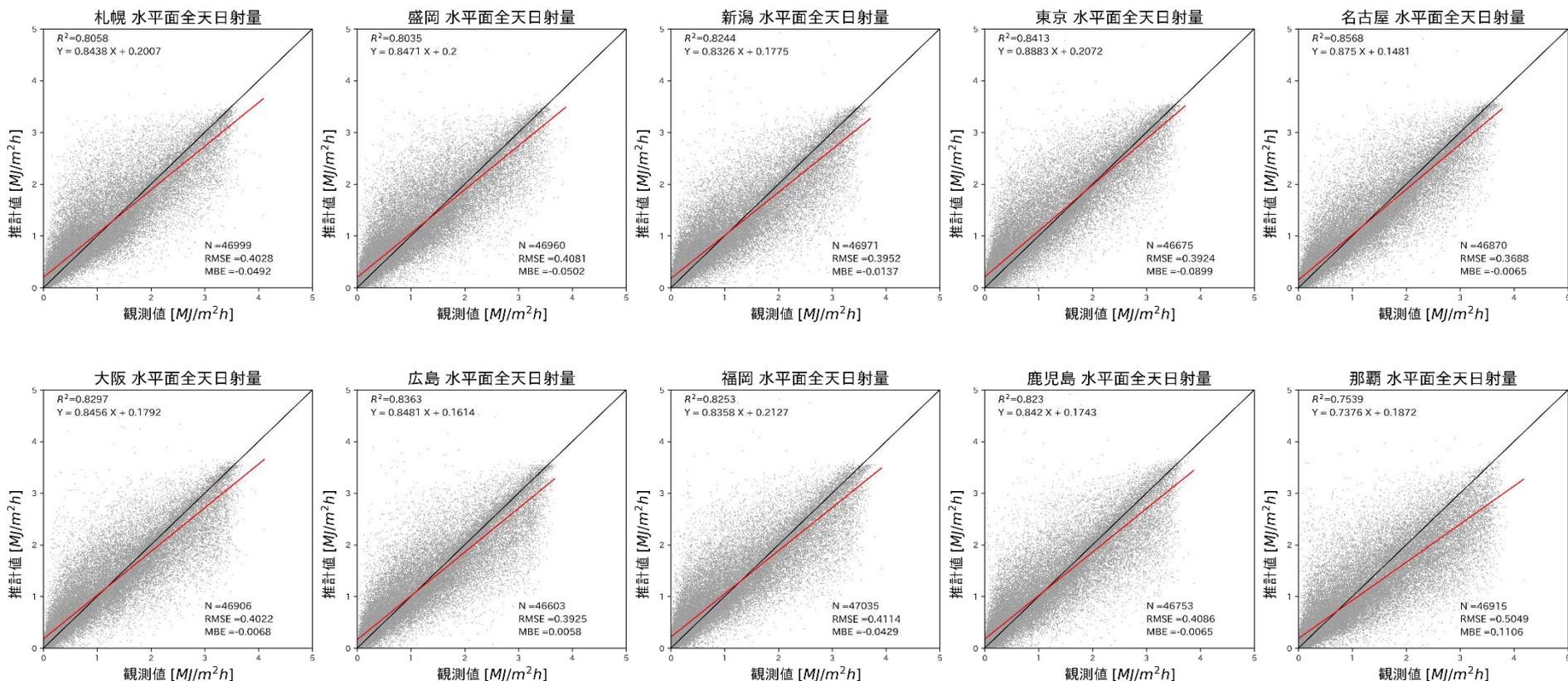
国土地理院の標高データを利用することで**最小5m間隔**で補間計算可能

# 3.MSM地点データの空間補間

▶ 日射量、大気放射量 … 距離の逆数で重みづけ平均

▶ 日射量の補間計算結果

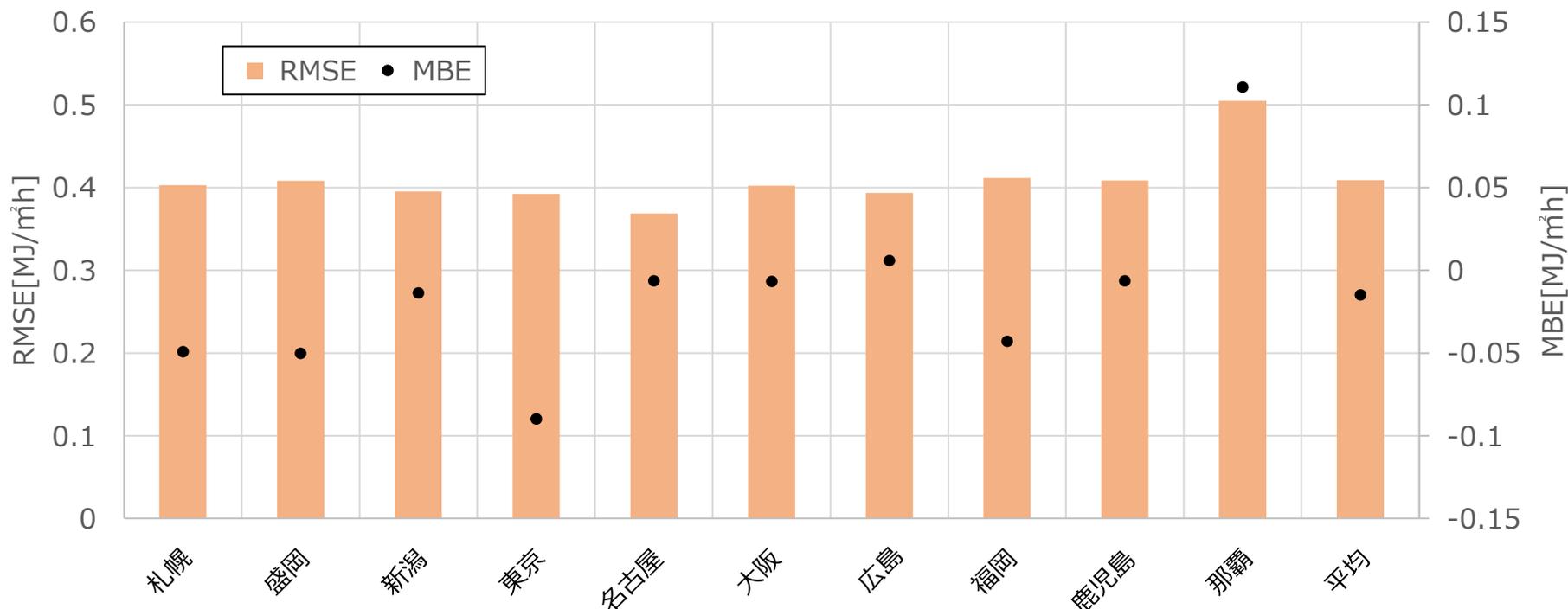
気象庁観測値と空間補間後の推計値の比較（散布図）



# 3.MSM地点データの空間補間

## ▶ 日射量の補間計算結果

気象庁観測値と空間補間後の推計値の比較（統計値）



RMSE : 0.4MJ/m²h程度、MBE : 0.1 MJ/m²h程度



空間補間による精度の向上はみられない

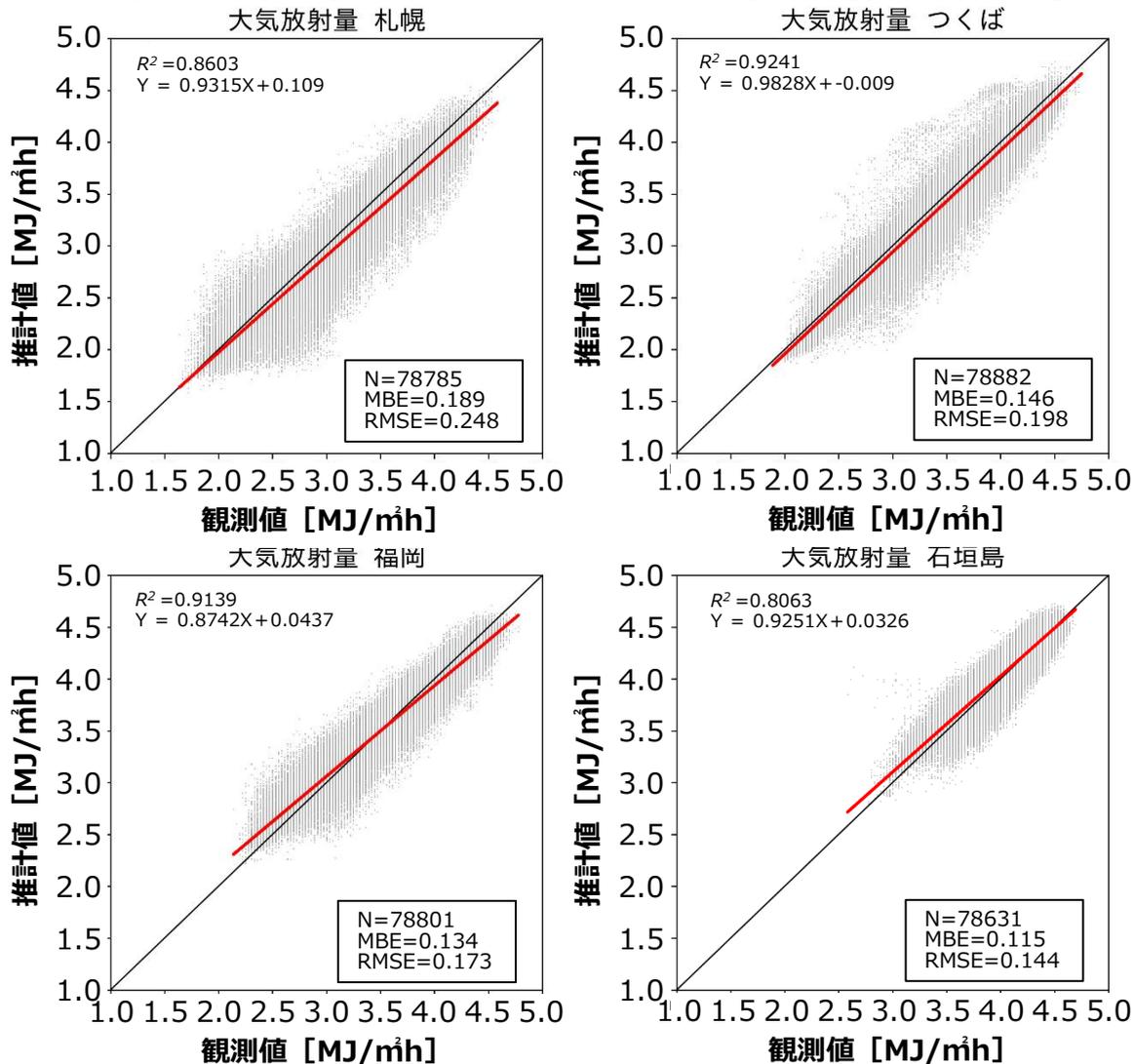
⇒推計を含む10年分の結果

高い精度で推計が可能と判断

# 3.MSM地点データの空間補間

## 大気放射量の補間計算結果

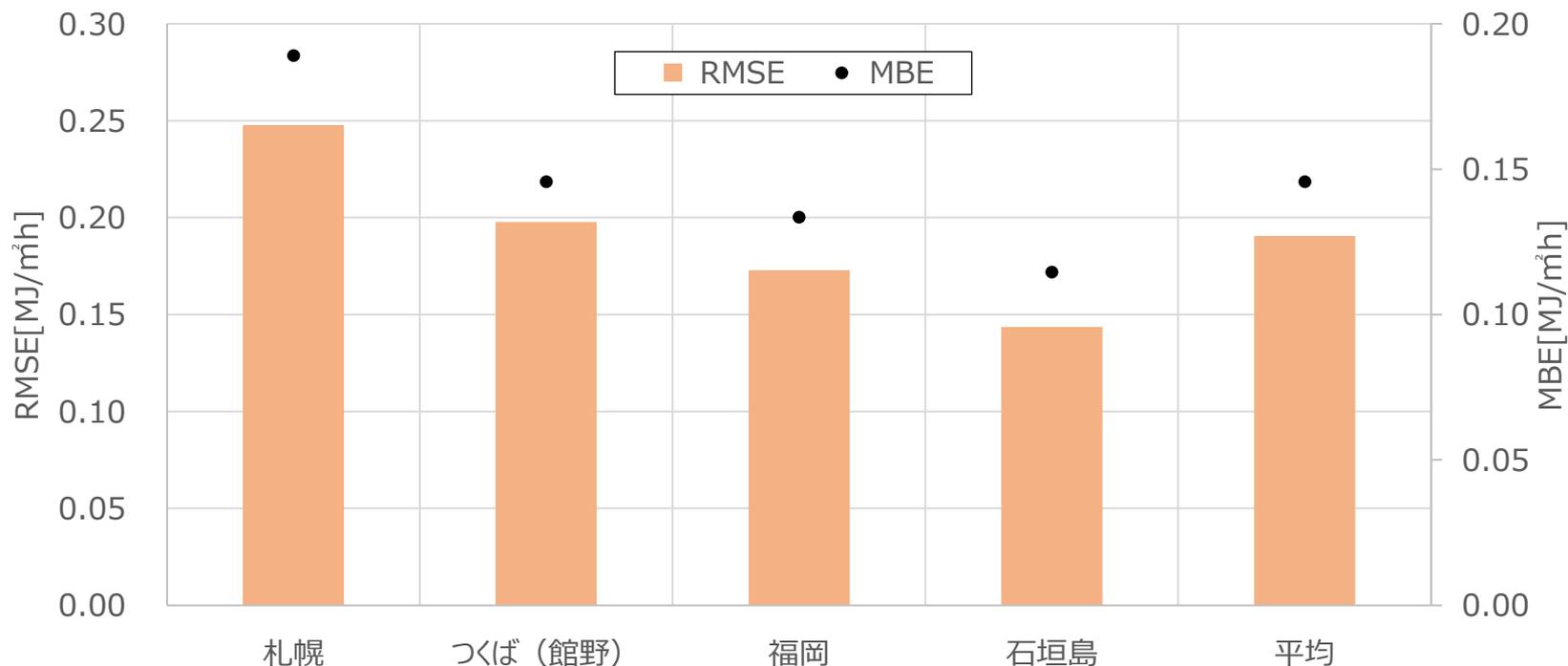
### 気象庁観測値と空間補間後の推計値の比較（散布図）



# 3.MSM地点データの空間補間

## 大気放射量の補間計算結果

気象庁観測値と空間補間後の推計値の比較（統計値）



RMSE、MBEともに0.2MJ/m<sup>2</sup>h程度

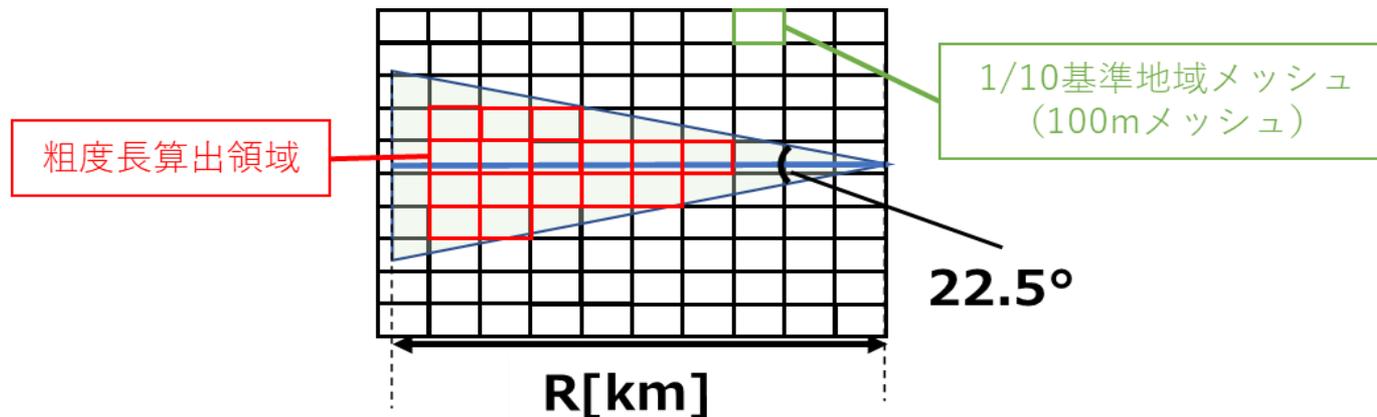


日射量同様に空間補間による精度向上はみられない

⇒推計を含む10年分の結果 **高い精度で推計が可能と判断**

### 3.MSM地点データの空間補間

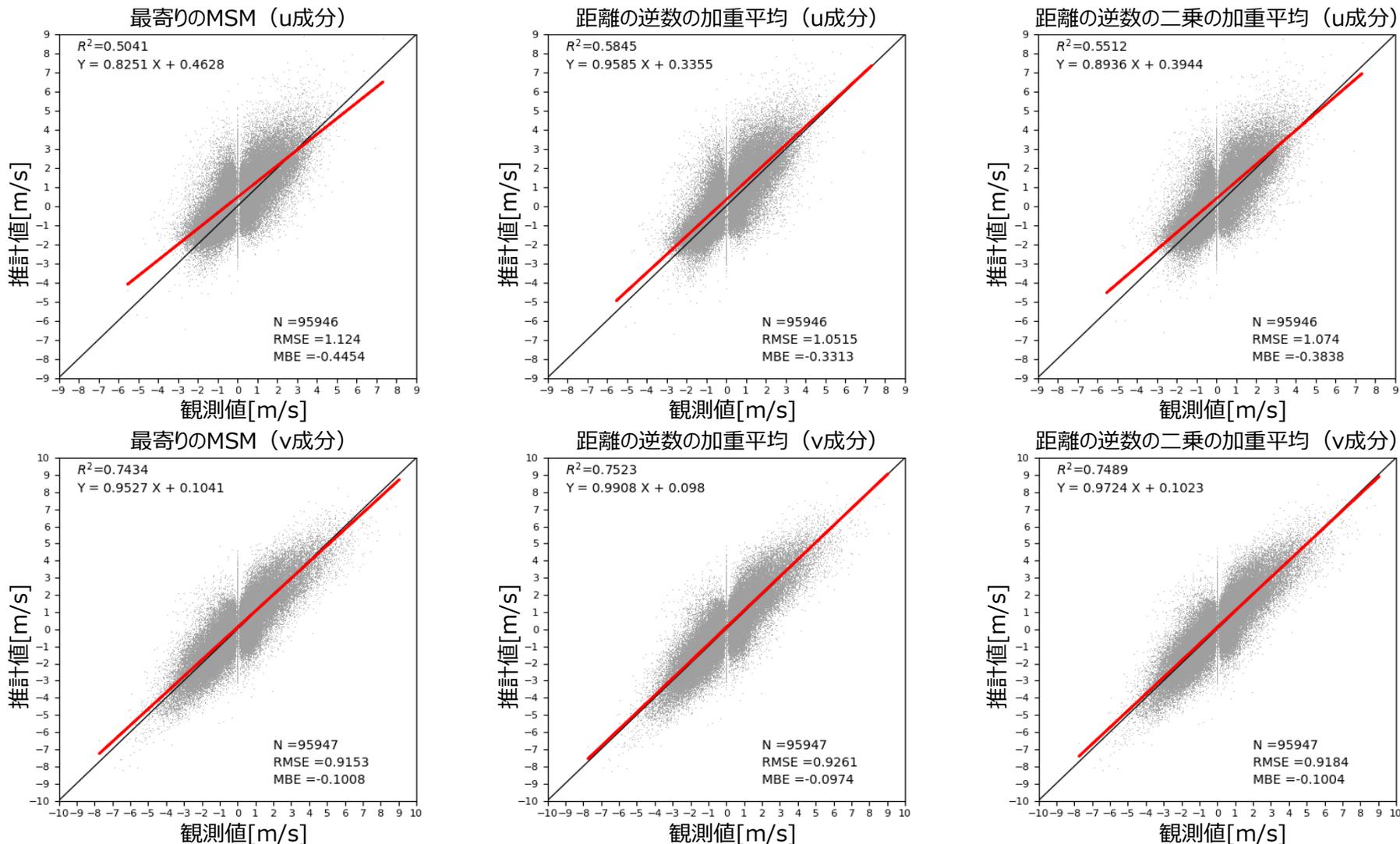
- ▶ 風向・風速 … 既往研究<sup>1)</sup>を参考に距離の逆数で重みづけ平均
  - ・MSMではu成分(東西軸)とv成分(南北軸)のベクトル風速形式で提供されている
    - ⇒ u成分、v成分それぞれについて空間補間を行う
  - ・MSMは地上10m地点の値
    - ⇒ 比較用の観測値を粗度長に基づいて標高補正(対数測)  
粗度長は、既往研究<sup>2)</sup>を参考に1/10細分メッシュ(100mメッシュ)ごとに定めた粗度長を単純平均した値



# 3.MSM地点データの空間補間

## ▶ 風向・風速の補間計算結果

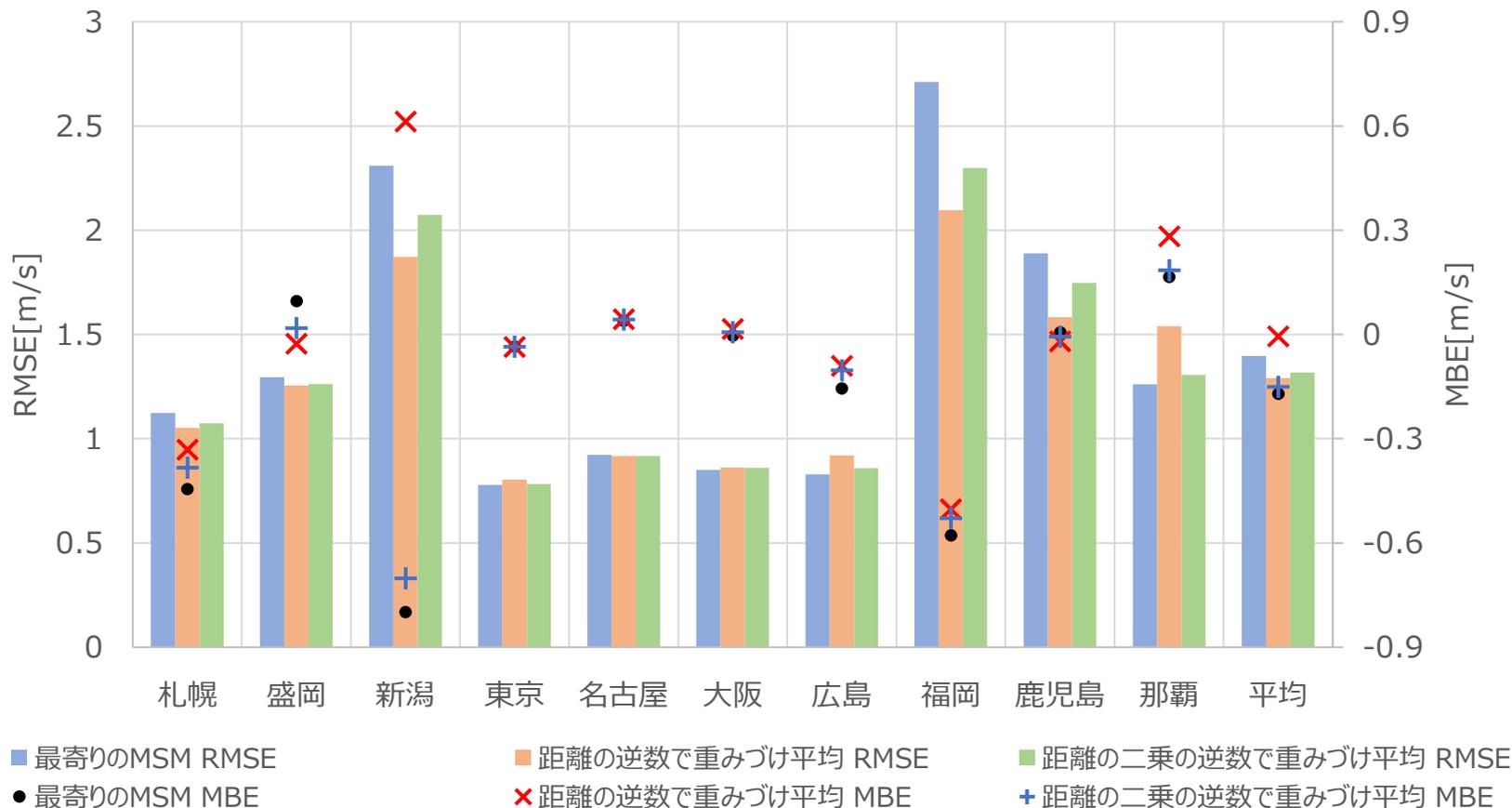
### 気象庁観測値と空間補間後の推計値の比較 (札幌の例 散布図)



# 3.MSM地点データの空間補間

## ・ 風向・風速の補間計算結果

気象庁観測値と空間補間後の推計値の比較 (u成分 統計値)

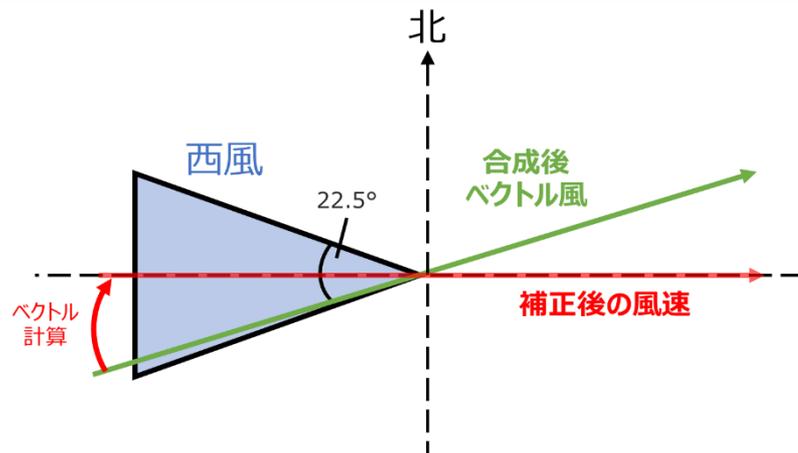


距離の逆数で重みづけ平均した条件で、RMSE、MBEが最小

# 3.MSM地点データの空間補間

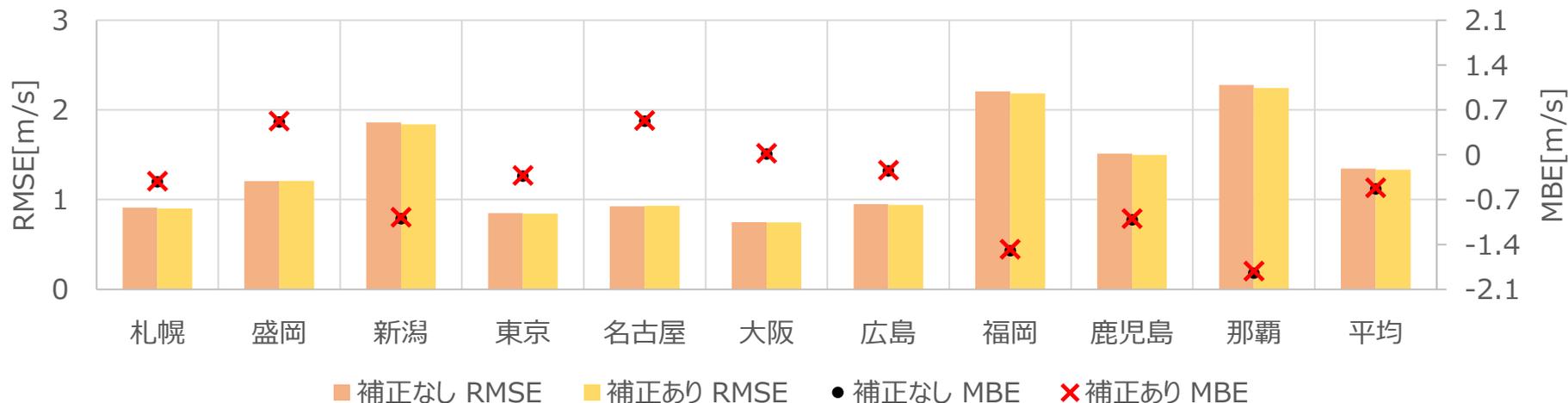
## ベクトルの合成

単純な合成だけでなく、  
最寄りの風向（16方位）に補正



## 風向・風速の補間計算結果

気象庁観測値と空間補間後の推計値の比較（合成後 統計値）

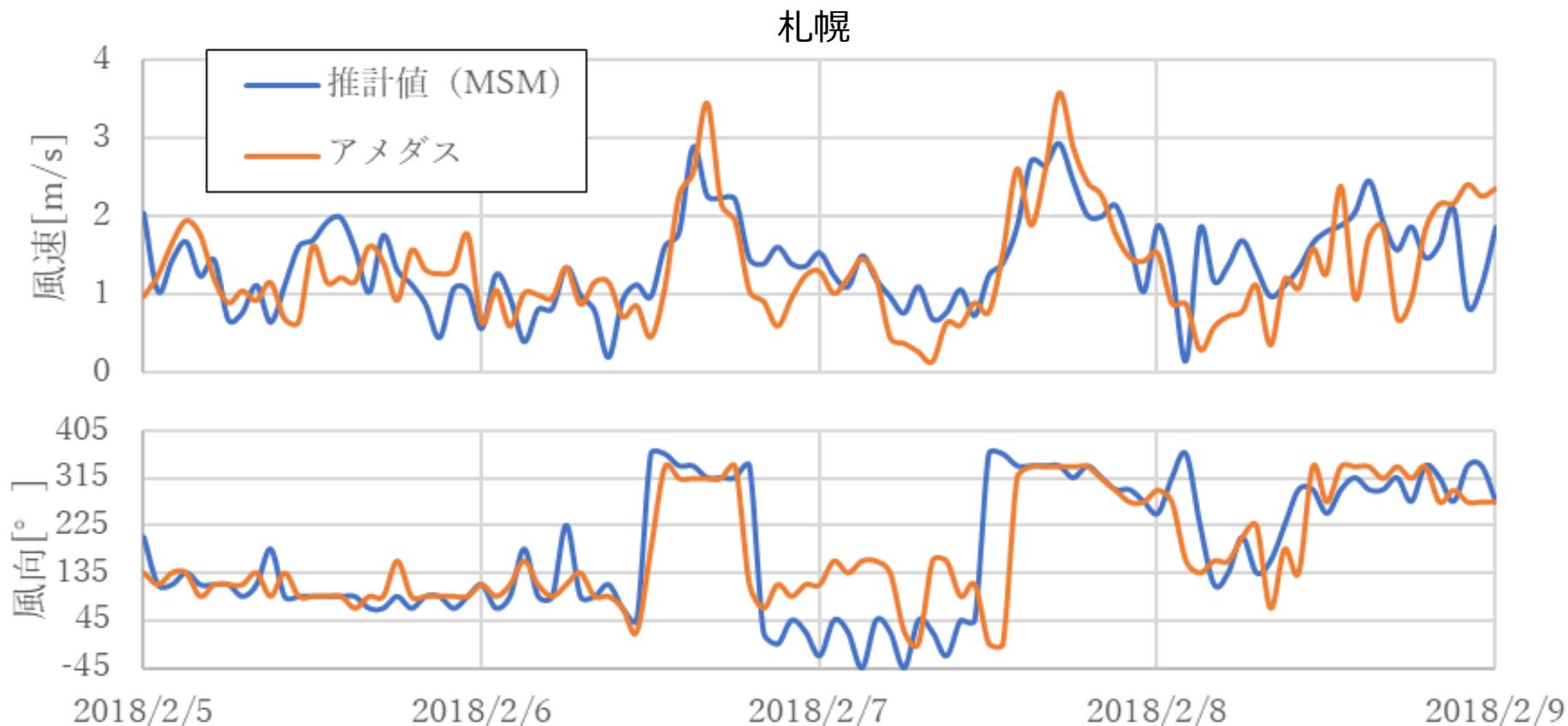


差はわずかだが、RMSE、MBEともに補正ありの条件の方が小さい  
一方で、那覇や福岡ではRMSEが2m/s以上と非常に大きい

# 3.MSM地点データの空間補間

## ・ 風向・風速の補間計算結果

気象庁観測値と空間補間後の推計値の比較（札幌 時系列）

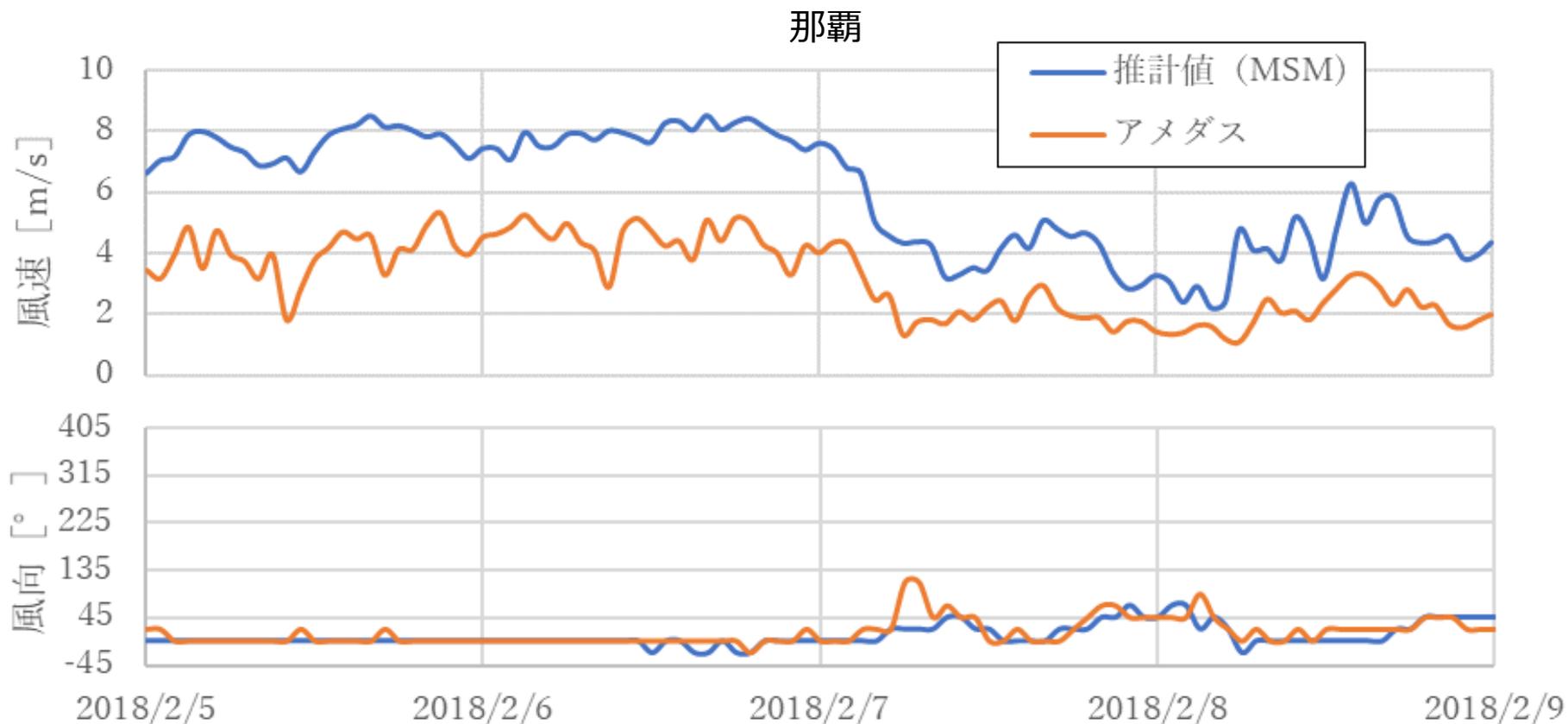


RMSEが約0.9m/sの札幌 ⇒ 非常によく一致している

# 3.MSM地点データの空間補間

## ・ 風向・風速の補間計算結果

気象庁観測値と空間補間後の推計値の比較（那覇 時系列）

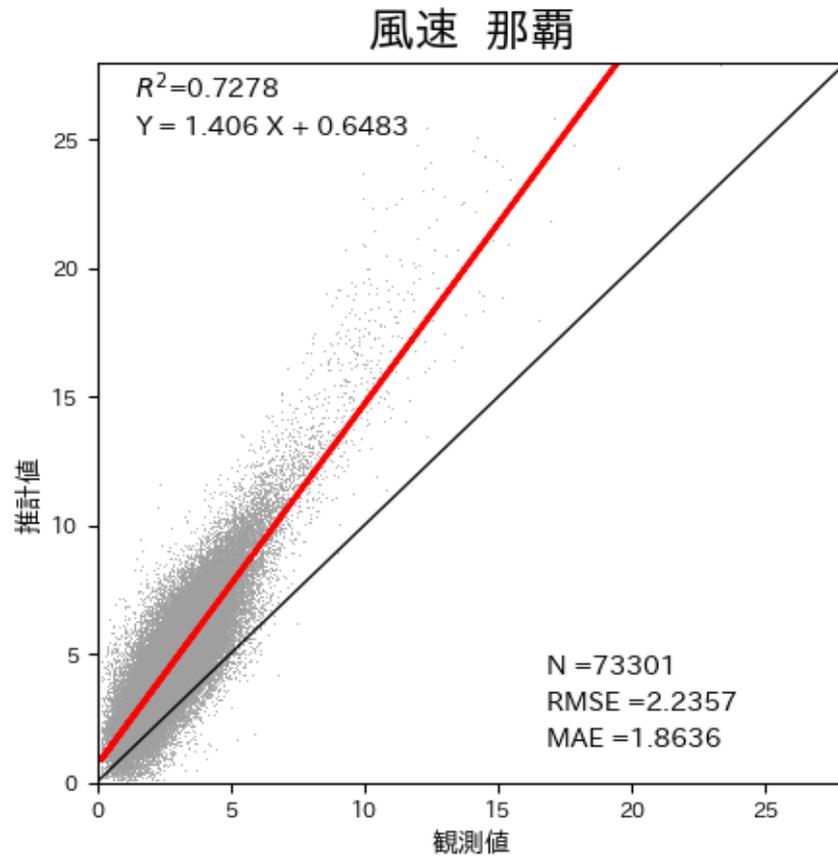
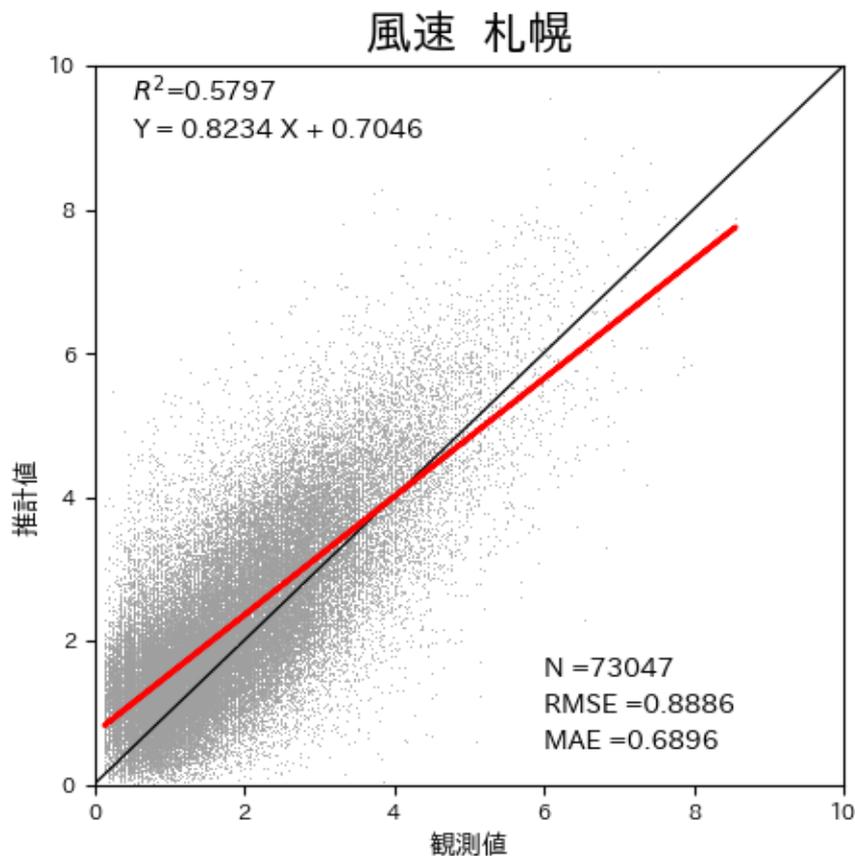


RMSEが約2.3m/sの那覇 ⇒ 相対的に追従している

# 3.MSM地点データの空間補間

## ▶ 風向・風速の補間計算結果

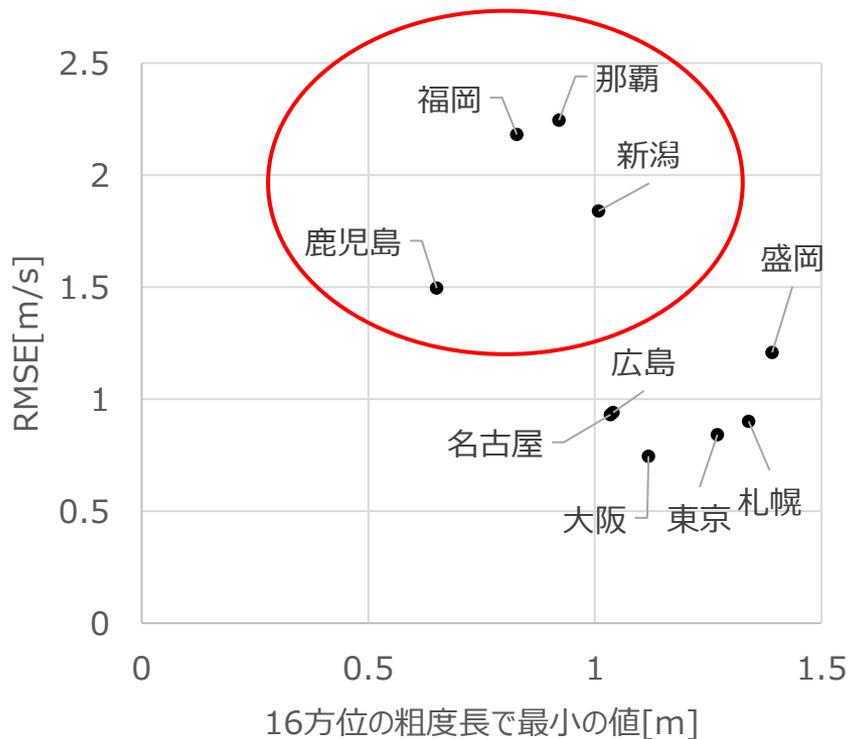
気象庁観測値と空間補間後の推計値の比較（散布図）



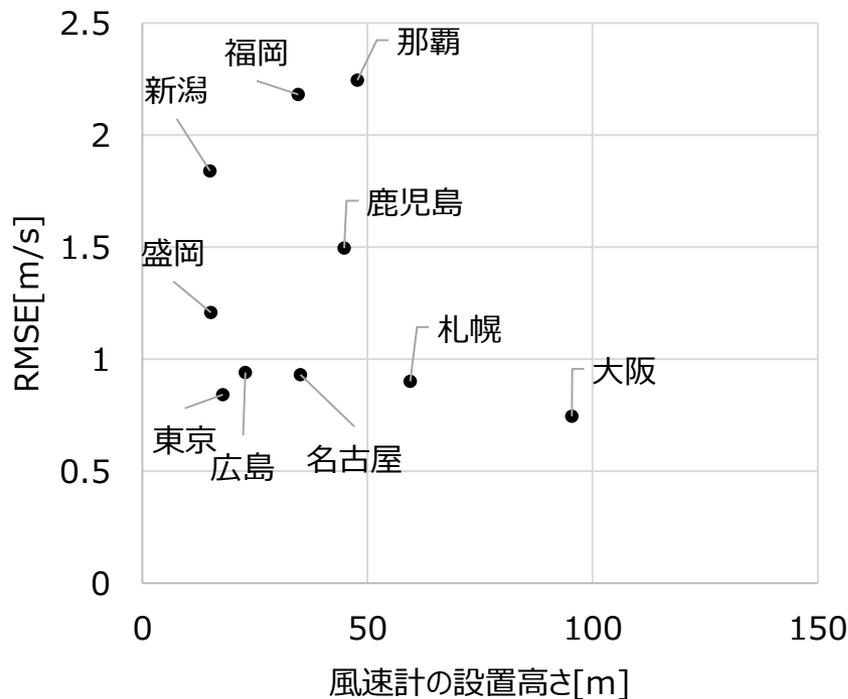
那覇にも直線関係がみられる ⇒ 標高補正の影響の可能性

# 3.MSM地点データの空間補間

## ・ 風向・風速の補間計算結果 風速計設置高とRMSEの関係



粗度長が約1m未満の条件で  
誤差が大きい



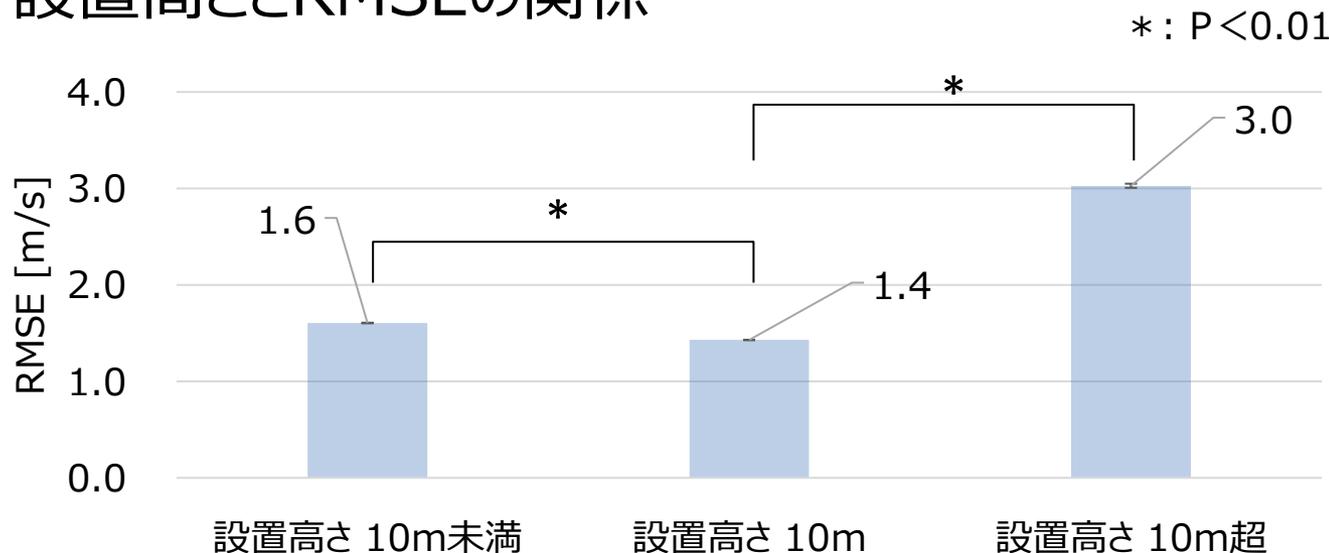
設置高さが低い（補正が少ない）  
条件でも、誤差が大きい

周囲に海や湖、川がある地点では過剰に粗度が小さくなっている可能性

# 3.MSM地点データの空間補間

## ▶ 風向・風速の補間計算結果

### 風速計設置高さとのRMSEの関係



標高補正を実施していない、設置高10mの群でRMSEが有意に小さい



標高補正の方法（対数測や粗度長の定め方）が、  
気象庁と一致していないことが誤差が大きくなった原因と考えられる

実質的なRMSEは1.4m/s ⇒ **気象庁の発表する精度<sup>3)</sup> と同等**

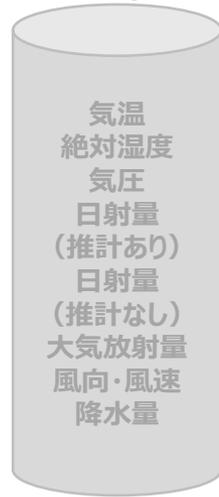
# 4.設計用気象データの計算

気象庁作成  
データ  
MSM  
データ  
バイナリ  
10年分  
(約2,000GB)



- データの抜粋
- 不足データ推計
  - ・絶対湿度
  - ・日射量
  - ・大気放射量

MSM  
データ  
CSV  
10年分  
(約84GB)  
約16,700地点  
約5MB/地点



- メッシュ化  
(空間補間)

1kmMesh  
1時間別データ  
CSV  
10年分  
(約1,900GB)  
約380,000地点  
約5MB/地点



- 設計用気象  
データの計算
  - ・EA方式
  - ・平年値など

1kmMesh  
設計用気象データ  
CSV  
1年分  
(約190GB)  
約380,000地点  
約0.5MB/地点



- 地盤地中熱の計算



- マップ化



## 4. 設計用気象データの計算

### ▶ 設計用気象データとは

空調設計用気象データ ⇒ 過酷気象  
標準年気象データ ⇒ 平均的なデータを選択して作成 など

2011/1～2020/12の10年間時別データから  
1年間分の設計用気象データを作成する



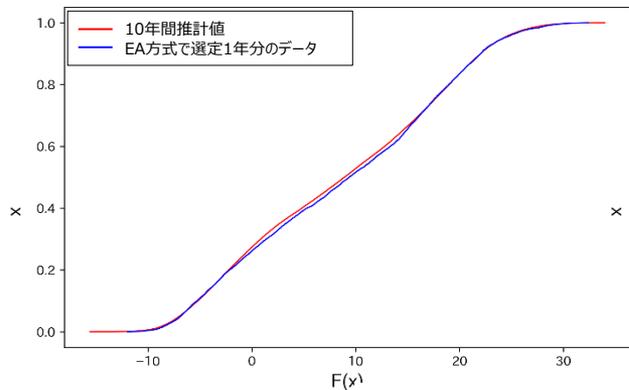
本事業では  
拡張アメダス（EA）方式<sup>4)</sup><sup>5)</sup>の10年間標準年データ（1時間別値）  
および気象庁の10年間平年値（日別値）の計算プログラムを作成する

# 4. 設計用気象データの計算

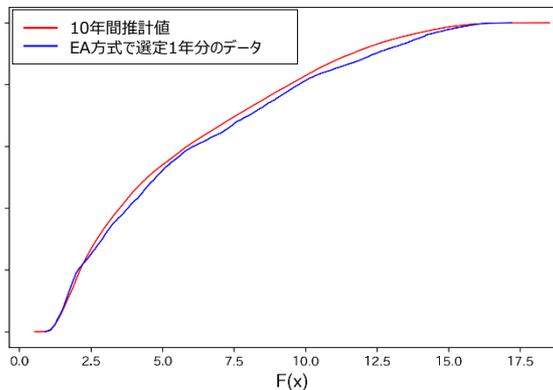
## ▶ 設計用気象データの計算結果 (EA方式)

10年間統計値と選定した1年間統計値の比較 (札幌 累積分布関数)

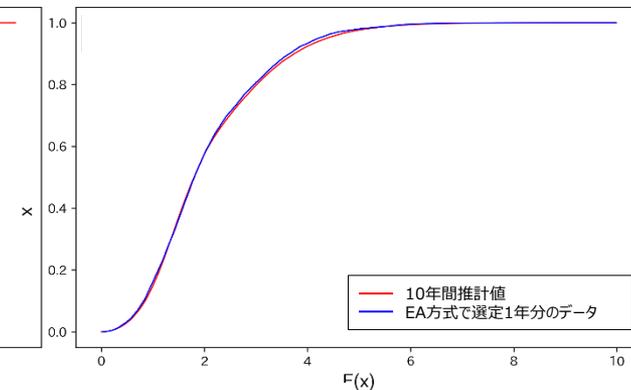
札幌 気温



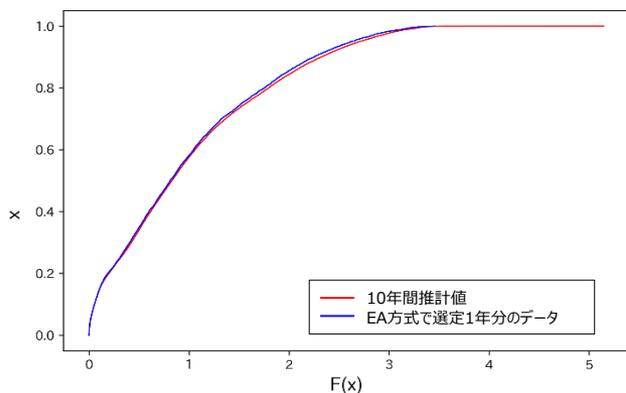
札幌 絶対湿度



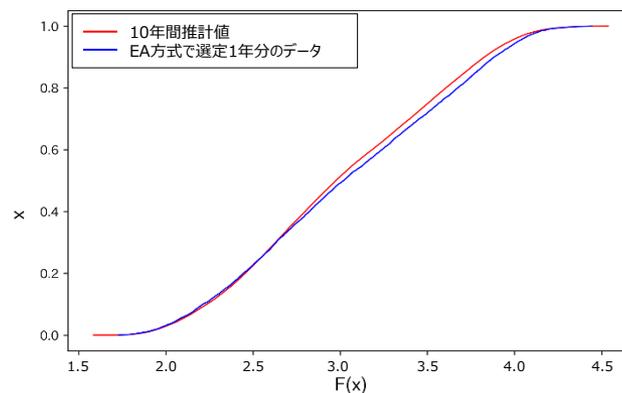
札幌 風速



札幌 水平面全天日射量

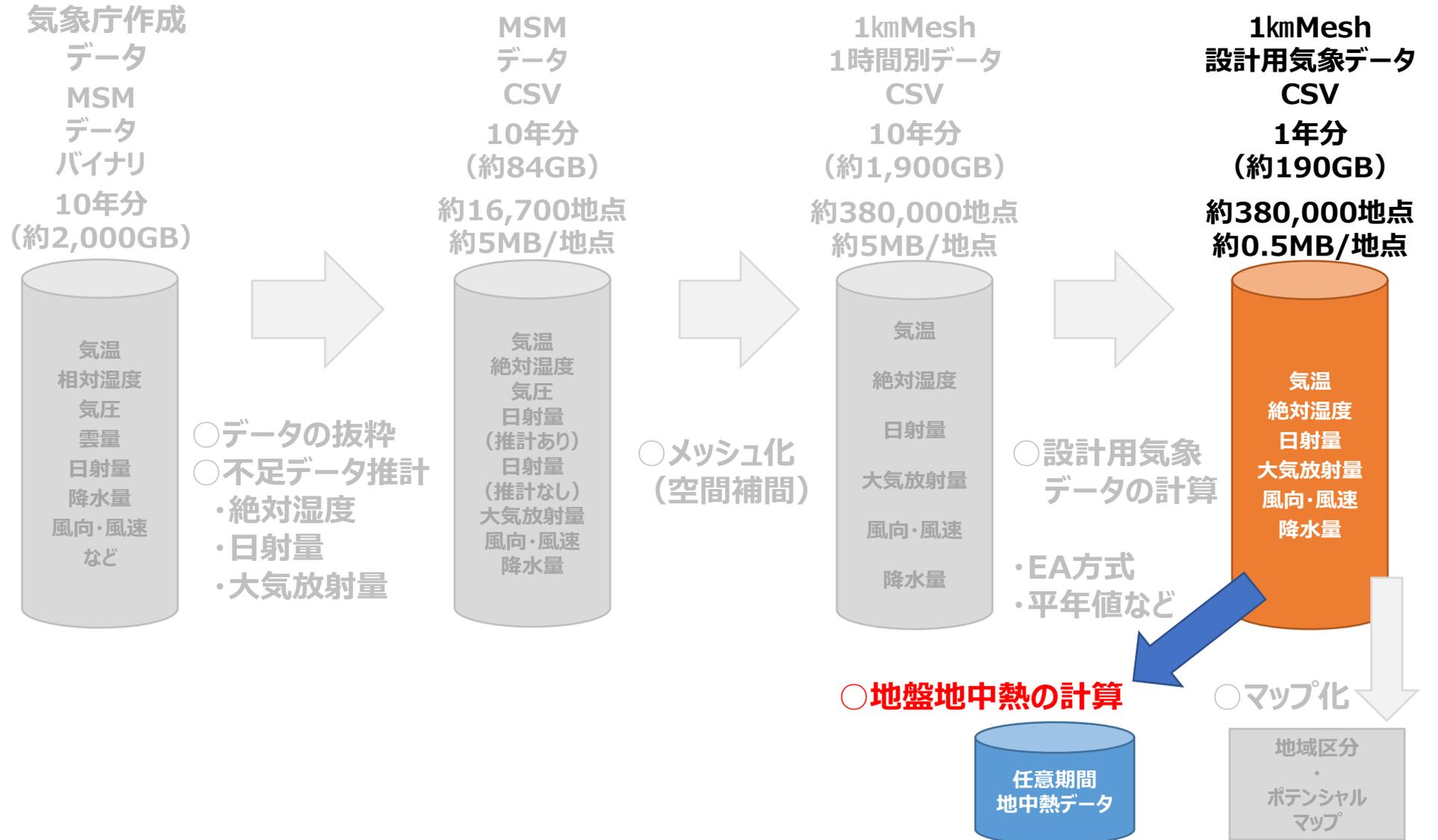


札幌 大気放射量



両者の累積分布関数がよく一致 ⇒ 統計期間を代表できている

# 5.地盤地中熱の計算



# 5.地盤地中熱の計算

## ▶ 地盤地中熱の計算に境界条件・土質等が与える影響の検討

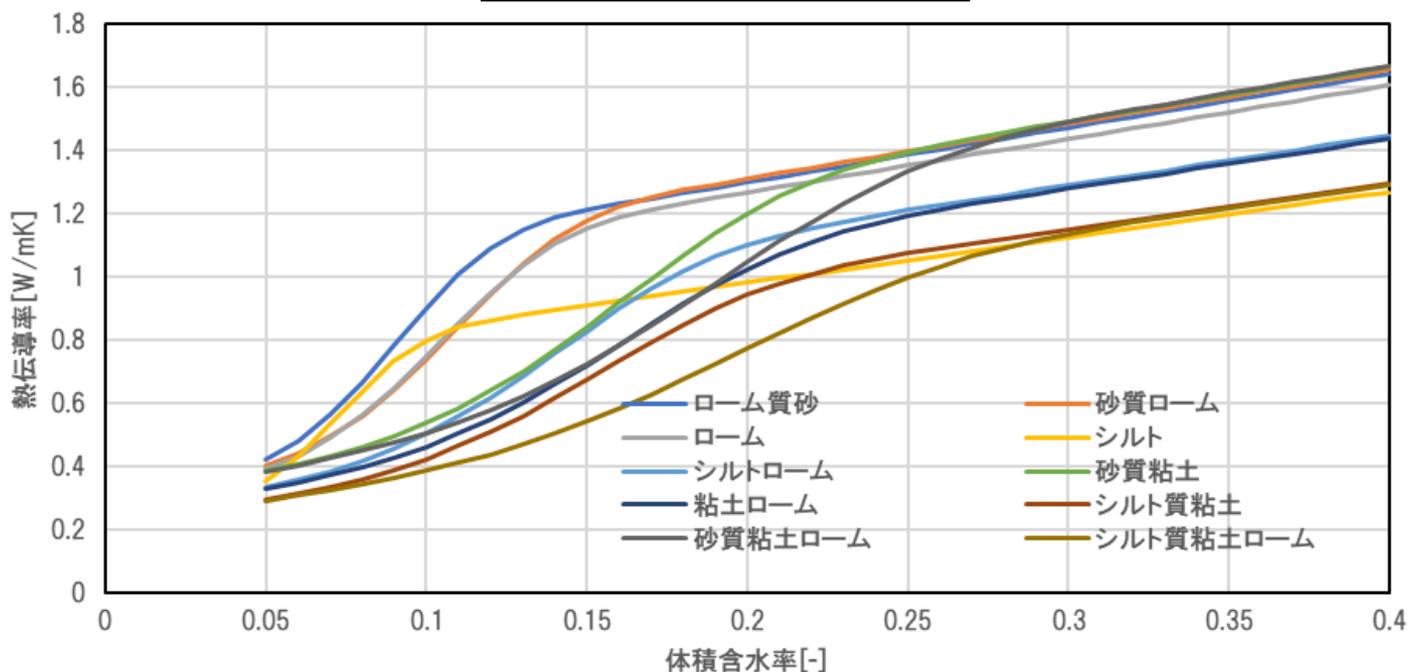
道総研建築研究本部では、

任意の地点の地盤地中熱を計算するプログラムを作成している



計算モデル、境界条件および土質が地中温度に及ぼす影響を検討

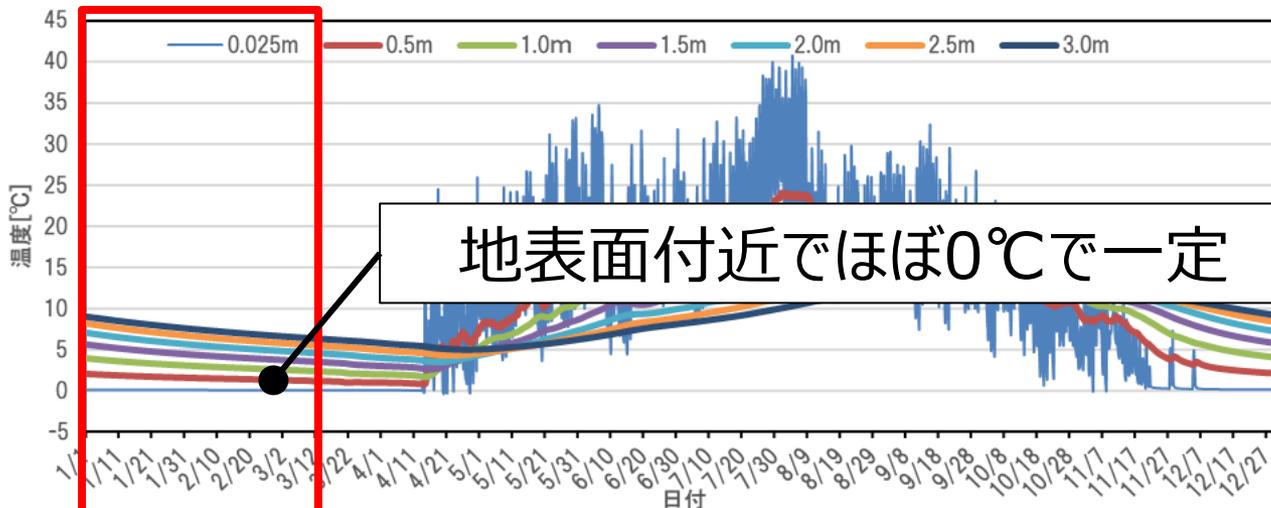
使用した土の物性値の例



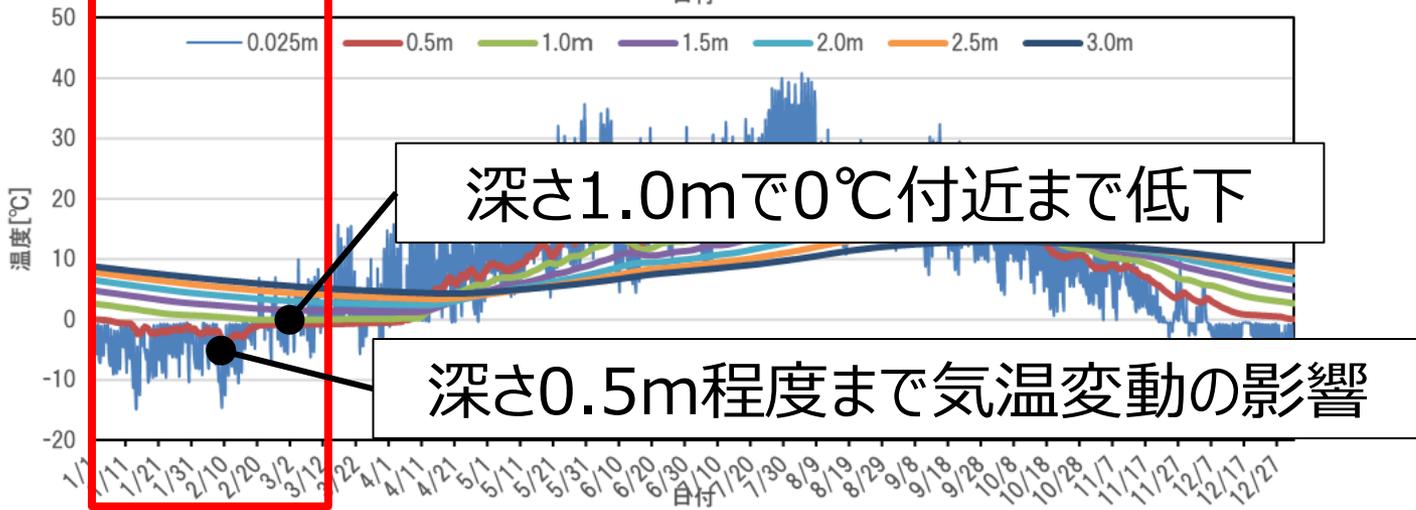
# 5.地盤地中熱の計算

## 積雪の有無（地表面境界条件）

積雪あり  
旭川  
土質：ローム



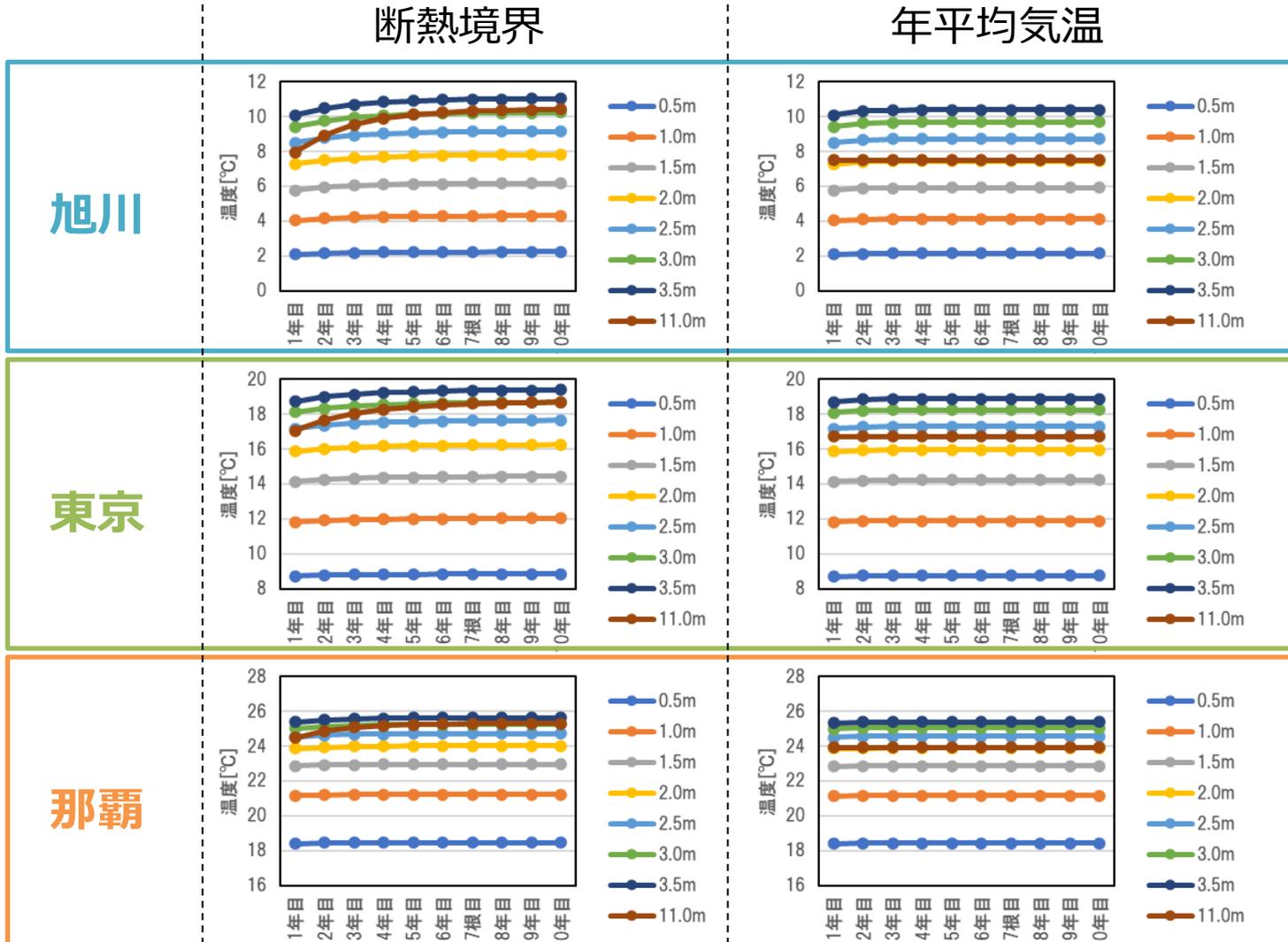
積雪なし  
旭川  
土質：ローム



旭川の凍結深度は1m前後 計算結果は妥当と考えられる

# 5.地盤地中熱の計算

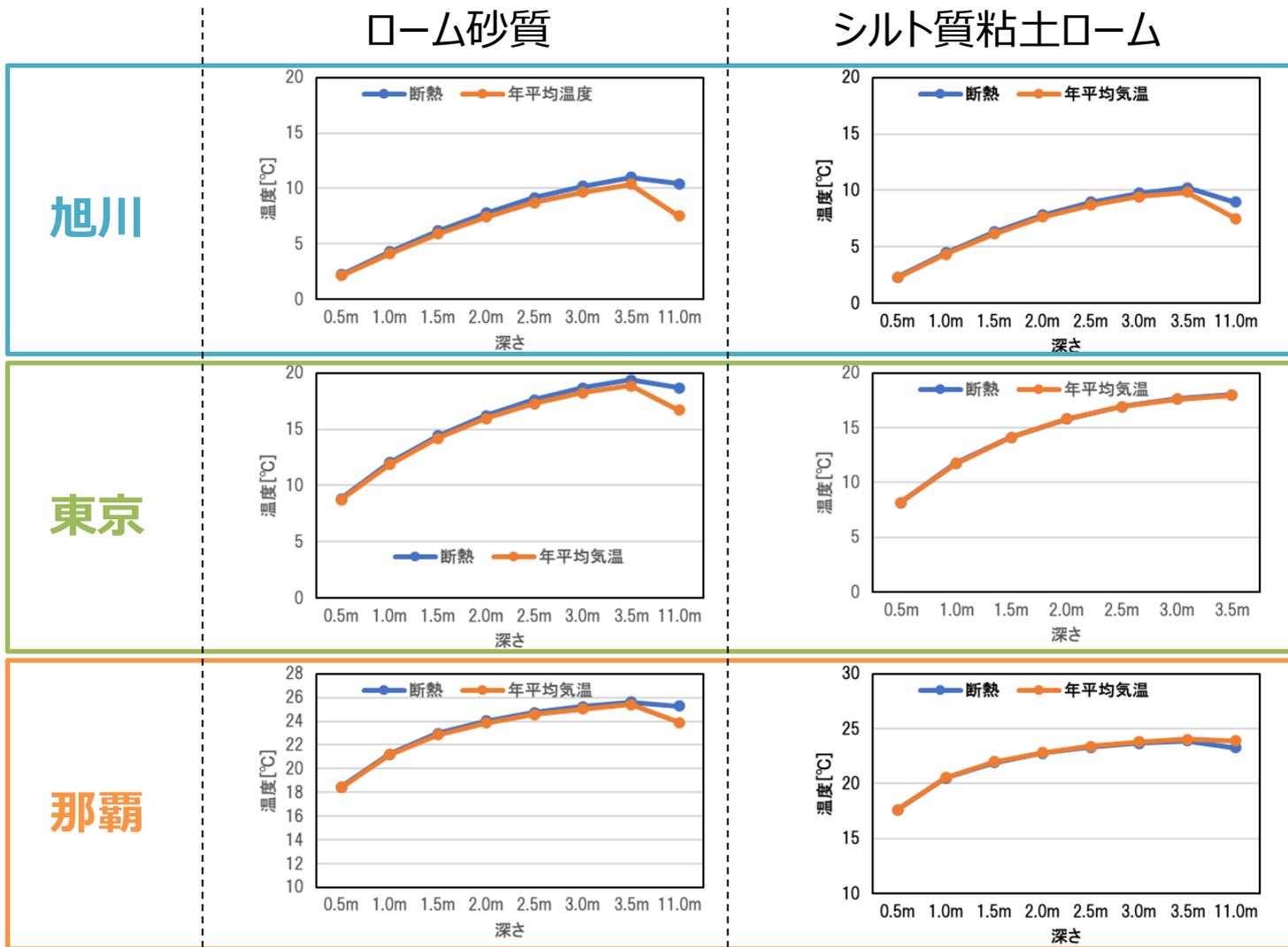
## ・地中最深部の境界条件（土質：ローム質砂 12月31日24時の温度）



温度固定の方が断熱境界よりも年周期定常に達するのが早い

# 5.地盤地中熱の計算

## ▶ 地中最深部の境界条件（10年目12月31日24時の地中温度）

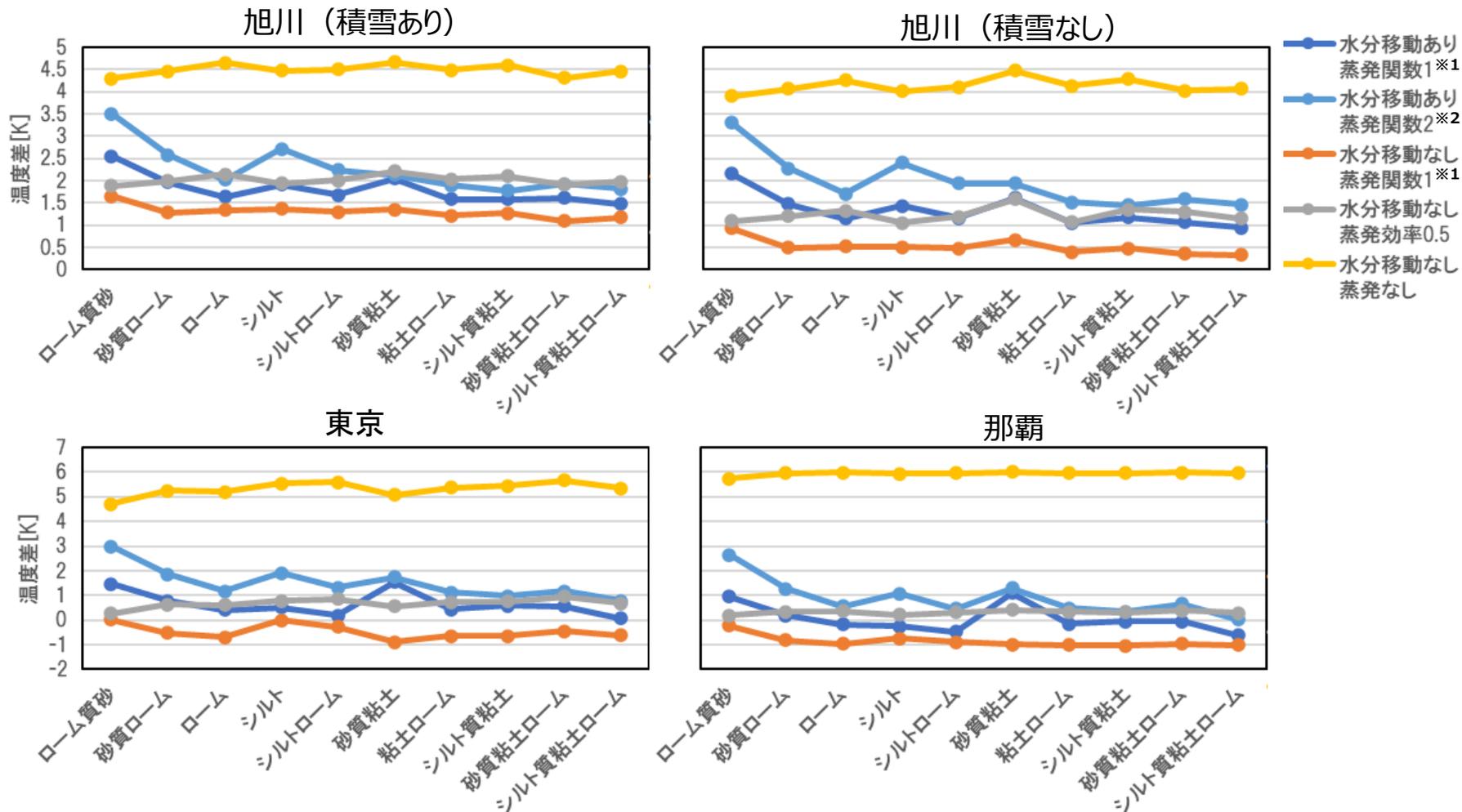


浅い位置 ⇒ 境界条件の違いによる差は少なく、3年程度の計算で十分

# 5.地盤地中熱の計算

## 土質および地表面境界条件の影響

年平均地中温度と年平均気温の差（計算法の違い）



※1 これまで使用していたモデル ※2 表土層の厚さdを表層計算セルの厚さの50mmとしたモデル

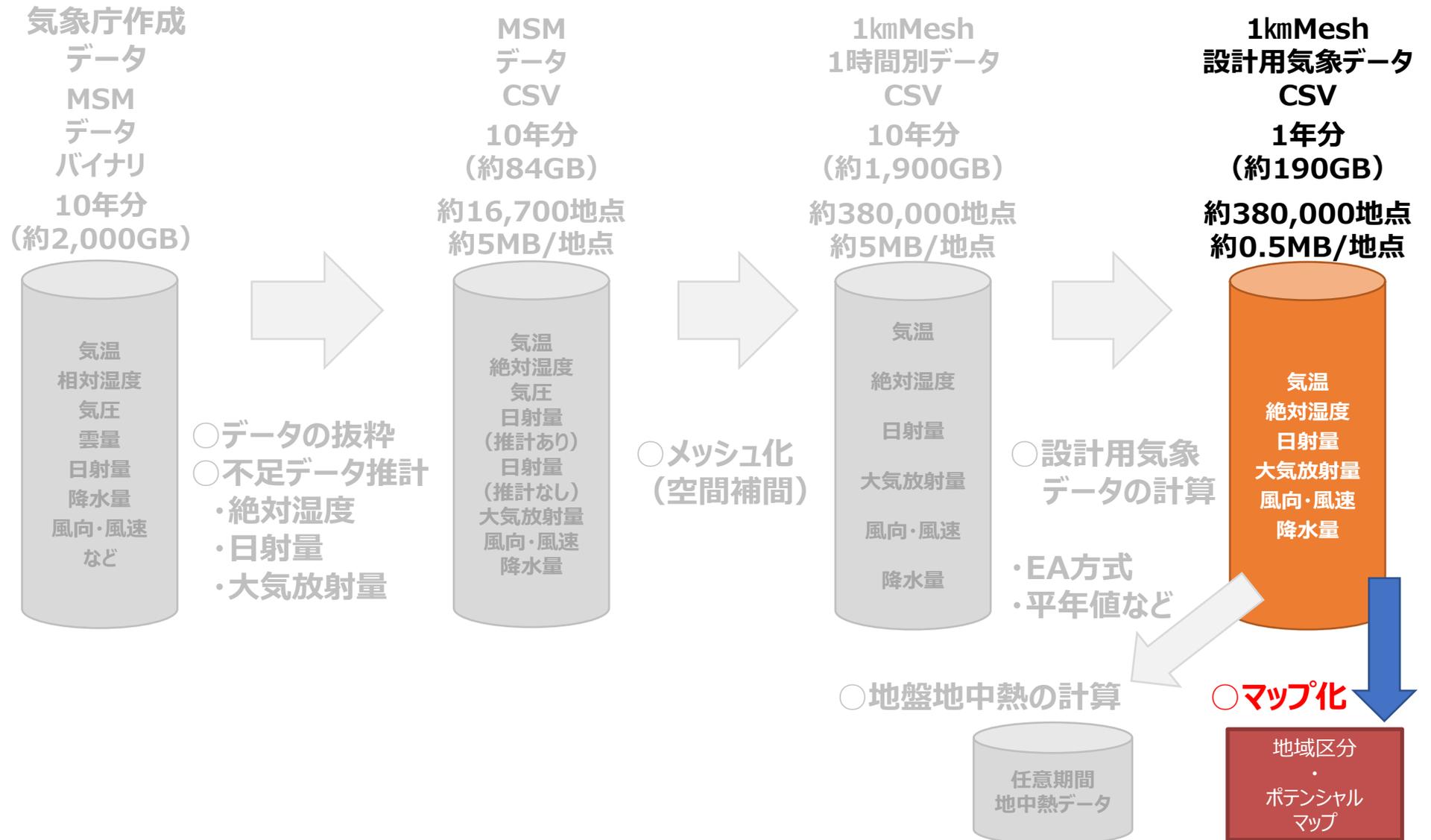
## 5.地盤地中熱の計算

### ▶ 地盤地中熱の計算に境界条件・土質等が与える影響

#### 得られた知見

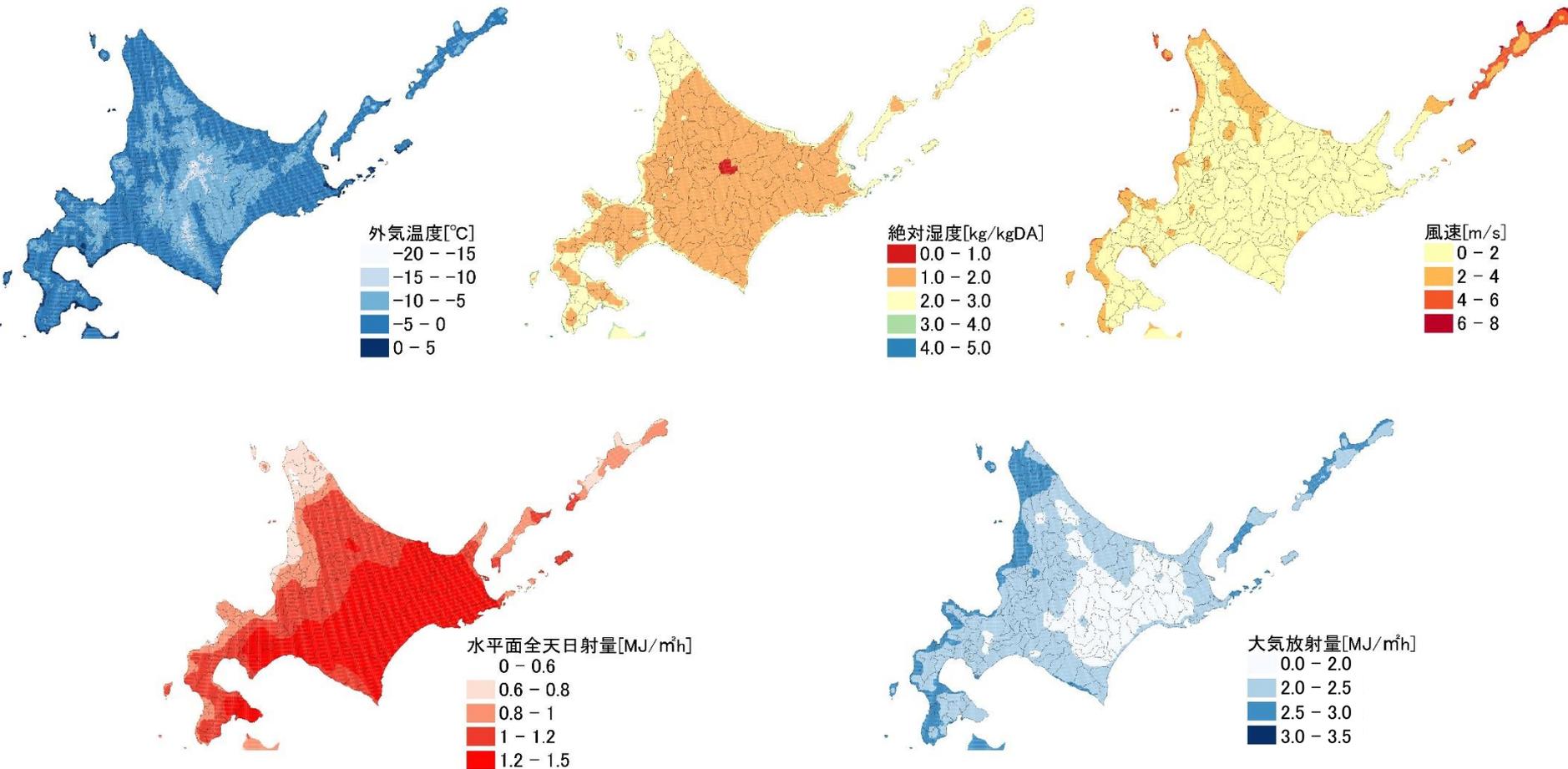
1. 地中最深部を断熱境界とする場合、初期値として与える地中温度と不易層温度に差がある場合、深い位置では年周期定常に達するまで5年以上要することがある。
2. 深さ2m以内の地中温度は、3年程度で年周期定常に達し、地中最深部を断熱境界とした場合と年平均温度の一定値とした場合でほとんど差が生じない。
3. 那覇の年平均地中温度と年平均外気温の差が小さい原因は地表面からの蒸発が多いためと考えられた。
4. 土質については、地表付近の含水率が低下しやすく蒸発量が少ないと考えられるローム質砂、砂質ローム、砂質粘土の平均地中温度が高くなった。
5. 水分移動を考慮せず熱伝導のみで解析する場合、蒸発効率を0.5とすると、ローム質砂の場合を除き、水分移動を考慮した計算結果に比較的近い結果が得られた。

# 6.気候区分・ポテンシャルマップの作製



# 6.気候区分・ポテンシャルマップの作製

## ▶ 1kmメッシュ 1時間別気象マップ° (2011年12月21日12時の例)



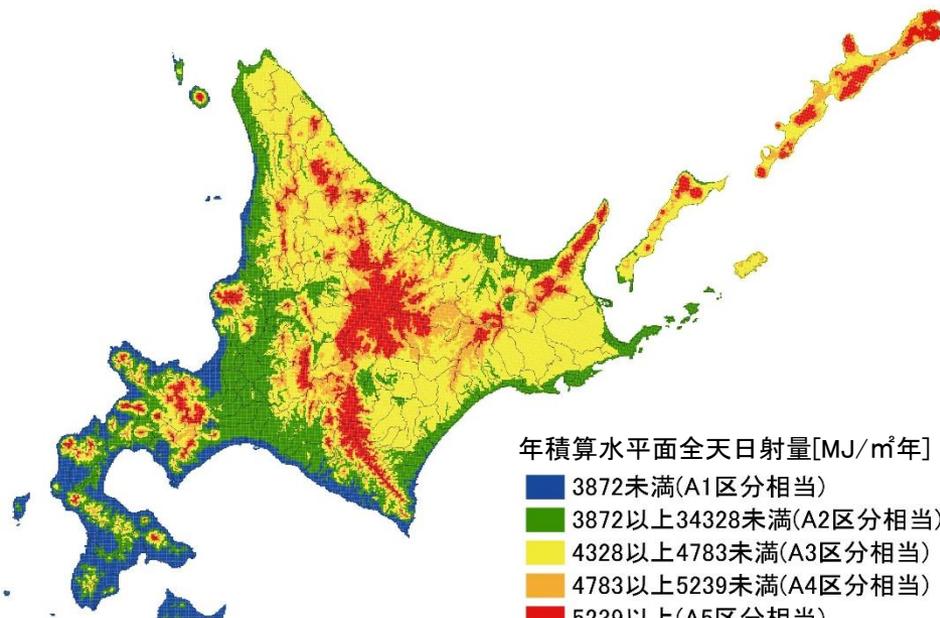
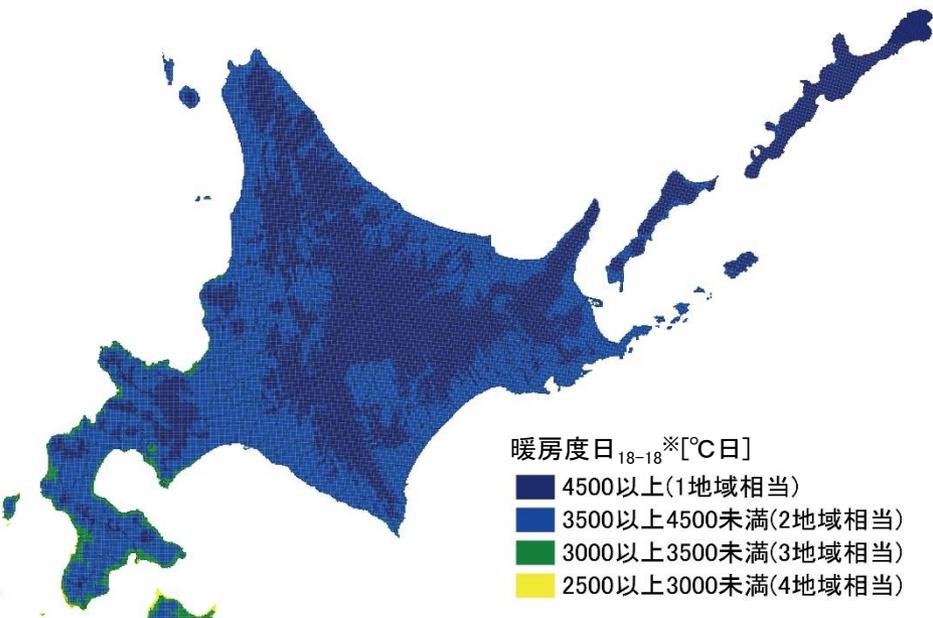
1kmメッシュ (最小5m) ・1時間別の気象データを10年分利用可能

# 6.気候区分・ポテンシャルマップの作製

▶ 1kmメッシュ 地域区分 (EA方式で選定した標準年データに基づく)

### 暖房度日に基づく地域の区分

### 年積算日射量に基づく地域の区分



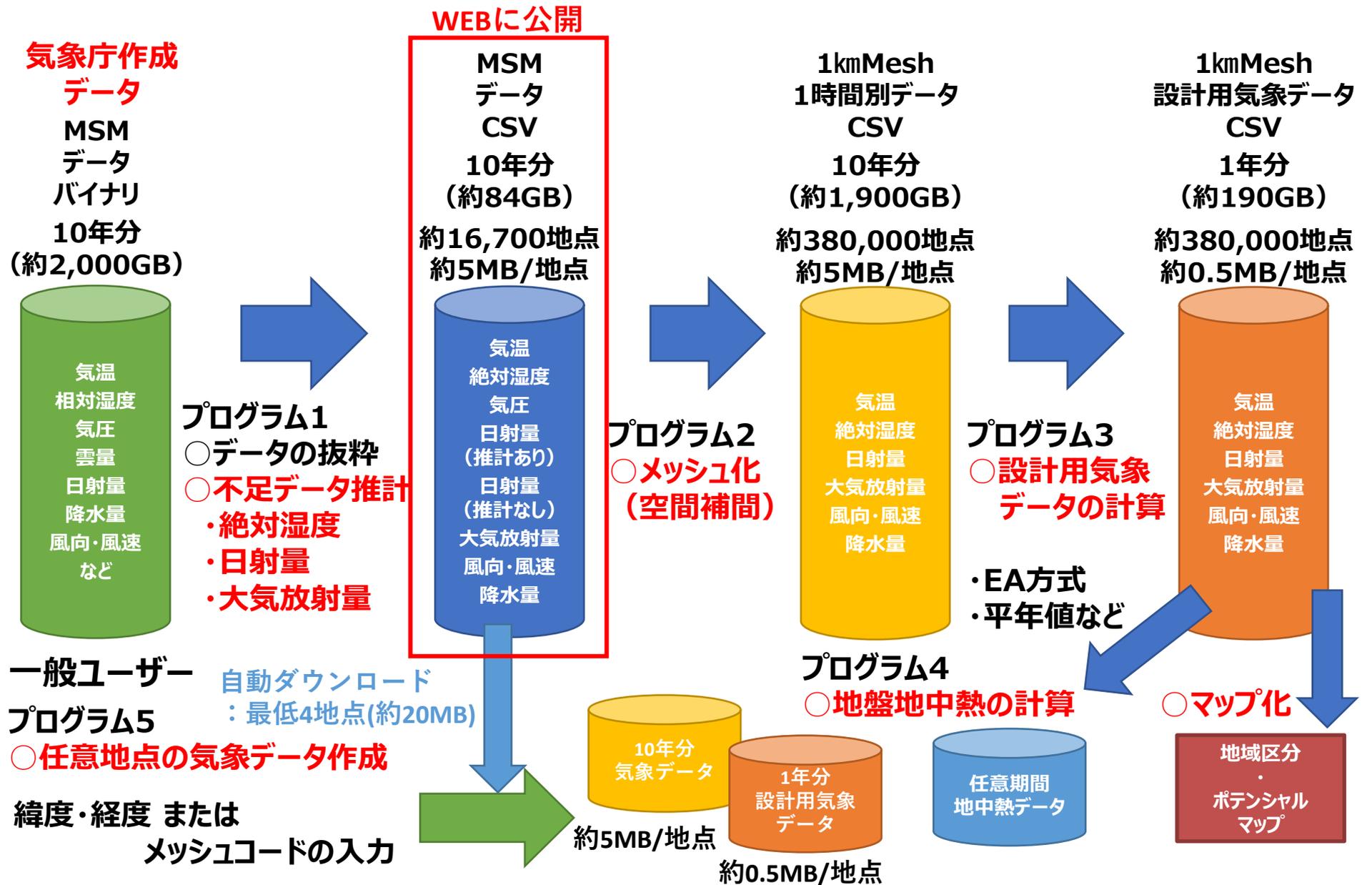
※ 日平均外気温度が18°Cを下回った日の、  
暖房設定温度18°Cとの差(暖房度日)を積算した値

1kmメッシュで気候区分等を計算可能



建設地の気候条件を考慮した省エネ性能の評価・設計が可能

# 7. 気象データセットの公開



## 8.まとめ

### ▶ 気象データセットの構築

- ・2007～2020年のMSMに基づいたデータセットを作成した
- ・MSMに不足する気象データの推計手法を検討し、プログラム化した
- ・任意地点の気象データを空間補完する手法を検討し、プログラム化した

### ▶ 設計用気象データの作成

- ・気象庁が定める平年値の作成方法に準拠したプログラムを作成した
- ・EA方式の標準年データの作成方法に準拠したプログラムを作成した

### ▶ 気象データセットおよびプログラム群の公開

- ・容易に任意地点の気象データを入手可能なデータ公開方法を検討した



微気候を考慮した建築設計や、気候特性を踏まえた省エネ性能の評価等  
様々な用途に活用可能な気象データセットを構築した

## 9.参考文献

- 1) 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
- 2) 荒木他, 数値解析手法を用いた鉄道沿線における強風箇所抽出方法, 鉄道総研報告 24(5), pp29-34, 2010-05
- 3) 気象庁, 数値予報解説資料 (数値予報研修テキスト) , 第50巻 (平成29年度) 数値予報システム・ガイダンスの改良及び今後の開発計画, 2017
- 4) 赤坂他, 標準年気象データの作成法に関する研究 : EA法とSHASE法の比, 日本建築学会環境系論文集, 69 巻, 581号, pp21-28, 2004
- 5) 赤坂, 標準年EA気象データの作成方法 ※標準年2010年版,  
[https://www.metds.co.jp/wp-content/uploads/2019/03/TE\\_EA\\_Reference\\_Year\\_R2010\\_181206.pdf](https://www.metds.co.jp/wp-content/uploads/2019/03/TE_EA_Reference_Year_R2010_181206.pdf), (参照 2021-03-10)