

メッシュ平年値 2020 解説

令和4年3月

気象庁

目次

1.	はじめに.....	3
2.	メッシュ平年値 2020 の概要	4
3.	作成方法	7
3.1.	基本的な作成方法.....	7
3.2.	重回帰分析による方法	7
3.2.1.	地形因子・都市因子	7
3.2.2.	重回帰分析に用いる観測値の補正	13
(1)	使用するデータ.....	13
(2)	統計期間の違いの補正.....	13
(3)	気温の高度補正	13
(4)	全天日射量に用いる日照時間(実測)における局所的な地形の影響の除外	13
(5)	部外観測所の最深積雪の品質管理.....	14
3.2.3.	重回帰分析.....	14
3.2.4.	重回帰分析の適用と補正	16
(1)	重回帰分析の計算領域の境界における処理	16
(2)	回帰推定値の誤差の補正.....	16
(3)	下限値・上限値の設定	17
(4)	日別値の算出	17
(5)	年統計値の算出	17
3.2.5.	日照時間(実測)から全天日射量を推定する式の作成	17
3.3.	推計気象分布を用いる方法.....	19
4.	結果.....	20
5.	謝辞.....	25
6.	参考文献.....	25

1. はじめに

国土に関するデジタルデータを整備する国土情報整備事業(国土庁経費)の一環として、気象庁は昭和 59(1984)年度～昭和 63(1988)年度に、平均気温・日最高気温・日最低気温・降水量・最深積雪の 5 種類について 1km 格子のメッシュ気候値を作成した。その後、平成 14(2002)年には「メッシュ気候値 2000」としてデータの更新(1971～2000 年の観測データを使用)と要素の追加(日照時間、全天日射量)を行い、平成 24(2012)年には「メッシュ平年値 2010」としてデータの更新(1981～2010 年の観測データを使用)と世界測地系への対応を行った。

今般、1991～2020 年の観測データを用いてデータを更新するとともに、気温については新たに日別値を追加し、日照時間は推計気象分布(日照時間)から作成するよう変更し、「メッシュ平年値 2020」を作成したので、その作成方法と精度について述べる。

メッシュ平年値は、農業計画、自然エネルギー開発、各種産業分野での適地選定、環境保全計画、都市開発計画等、多方面で利用されており、新しい「メッシュ平年値 2020」の幅広い分野における益々の活用が期待される。

2. メッシュ平年値 2020 の概要

メッシュ平年値 2020 は、1991～2020 年の 30 年間の観測値について平均した平年値を 1km メッシュで推定したものである。基本的な作成手法はメッシュ平年値 2010 を踏襲しているが、次の点で異なる。

- ① 気温(平均気温、最高気温、最低気温)は、月平均値と年平均値だけでなく、日別値も作成した。
- ② 日照時間は、日照計による観測値ではなく、推計気象分布(日照時間)を元に作成した。
- ③ 北方領土は、全要素が作成の対象外だったが、日照時間を作成した。
- ④ 小笠原諸島は、全要素が作成の対象外だったが、気温、降水量及び日照時間を作成した。ただし、日照時間は南鳥島を除く。
- ⑤ 湖沼域は、全要素が作成の対象外だったが、日照時間を作成した。

気象要素は平均気温・日最高気温・日最低気温・降水量・最深積雪・日照時間・全天日射量の 7 種類(表 1)である。年平均値は月平均値を平均し、年合計値は月合計値を合計して求めた。また、最深積雪については、月最大値のうち最も大きいものを年最大値とした。

表 1 作成する気象要素と種類

気象要素		単位	種類
気温	平均気温	0.1℃	日別値、月平均値、年平均値
	日最高気温	0.1℃	日別値、月平均値、年平均値
	日最低気温	0.1℃	日別値、月平均値、年平均値
降水量		0.1mm	月合計値、年合計値
日照時間		0.1 時間	月合計値、年合計値
全天日射量		0.1MJ/m ²	日積算量の月平均値、年平均値
最深積雪		1cm	月最大値(1、2、3、12 月)、年最大値

作成対象の領域は日本全国だが、地形データのない沖ノ鳥島等は除いた。また、観測点が無い北方領土や観測点が少ない小笠原諸島では、一部の気象要素を除いた。最深積雪については、観測点の平年値がすべて 0cm である沖縄・奄美と、雪が少ないために適切な推定結果の得られなかった九州、四国、山陽、近畿中南部を除いた。詳細は、表 2 のとおりである。なお、海水域のみのメッシュは全気象要素について対象外とし、湖沼域のみのメッシュは日照時間以外の要素について対象外とした。海水域、湖沼域及び陸域の判別は、国土数値情報の土地利用 3 次メッシュデータの平成 26 年度版を用いた。

表 2 作成対象の領域

○は作成対象、×は作成対象外を表す。

気象要素		気温、降水量	日照時間	全天日射量	最深積雪
北方領土		×	○	×	×
小笠原諸島	南鳥島	○	×	×	×
	南鳥島以外	○	○	×	×
沖ノ鳥島、岩礁		×	×	×	×
上記以外	沖縄・奄美、九州、四国、 山陽、近畿中南部	○	○	○	×
	その他	○	○	○	○

メッシュは、世界測地系による標準地域メッシュの3次メッシュ(第3次地域区画)に対応したものである。標準地域メッシュには、20万分の1地形図の大きさに相当する1次メッシュ(第1次地域区画、図1)、それを縦横8等分した2次メッシュ(第2次地域区画)、それをさらに縦横10等分した3次メッシュ(第3次地域区画)があり、図2に示す方法でメッシュコードが付けられている。なお、メッシュ気候値2000は日本測地系のメッシュで作成されており、二つの測地系の間では緯度・経度に10秒前後(距離で0.3km前後)の違いが生じ、平均標高は山間部では100m以上の違いがあるメッシュもある。このため、メッシュ気候値2000のデータとメッシュ平年値2020のデータを使つての単純比較は出来ない。

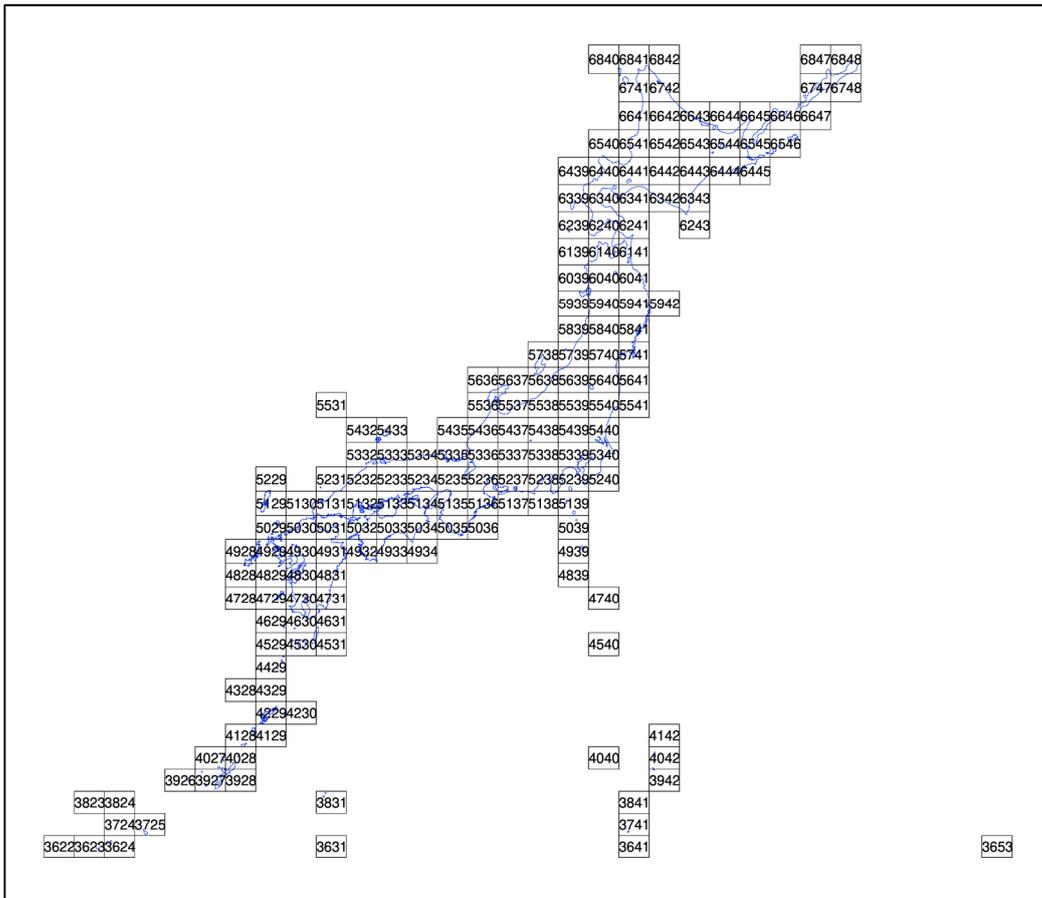


図 1 メッシュ平年値を作成した 1 次メッシュ
4 桁の数字は 1 次メッシュコードを表す。

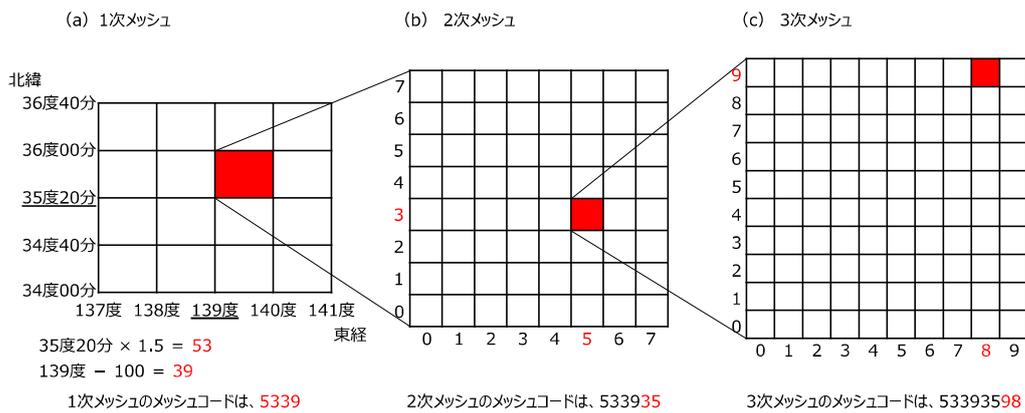


図 2 標準地域メッシュのメッシュコードの付け方

(a) 1 次メッシュは、メッシュの南西端の緯度を 1.5 倍したものと経度から 100 度を引いたものから 4 桁のメッシュコードを付ける。一辺の長さは約 80km となる。(b) 2 次メッシュは、1 次メッシュを緯線方向と経線方向に 8 等分し、それぞれ 0~7 の番号を付け、6 桁のメッシュコードを付ける。一辺の長さは約 10km となる。(c) 3 次メッシュは、2 次メッシュを緯線方向と経線方向に 10 等分し、それぞれ 0~9 の番号を付け、8 桁のメッシュコードを付ける。一辺の長さは約 1km となる。

3. 作成方法

3.1. 基本的な作成方法

メッシュ平年値 2020 では、平年値を 1km メッシュで推定する方法として、重回帰分析による方法と推計気象分布を用いる方法の 2 つを、気象要素により使い分けた。

重回帰分析による方法は、日照時間を除く気象要素で採用した。この方法は、メッシュ平年値 2010 の作成方法を踏襲しており、観測点におけるアメダス(地域気象観測)平年値、緯度・経度・標高・勾配等の地形因子及び人工被覆率(都市因子)との統計的関係を重回帰式により求め、観測点のないメッシュの平年値を推定する。地形因子については国土数値情報の標高・傾斜度 3 次メッシュデータの平成 23 年度版を、都市因子については国土数値情報の土地利用 3 次メッシュデータの平成 26 年度版を用いて計算した。

推計気象分布を用いる方法は、日照時間で採用した。これは、観測点における日照時間の平年値が、気象官署では観測値、アメダス地点では推計値であり、これらは単純に比較することはできないことから、重回帰分析による方法が適さないためである。推計気象分布(日照時間)は過去約 5 年分のデータしかないため、5 年又は 6 年平均値を 30 年平均値に補正した。

なお、全天日射量は、観測点が少ないために気候値と地形因子との関係を十分に分析することができないので、メッシュ平年値 2010 と同様に、上原ほか(1989)を参考に日照時間のメッシュ気候値から推定した。ただし、メッシュ平年値 2020 では前述のように日照時間は推計気象分布から求めているため、これとは別に観測値を用いた日照時間(実測)を重回帰分析による方法を用いて算出し、これから全天日射量を求めた。

3.2. 重回帰分析による方法

3.2.1. 地形因子・都市因子

地形因子・都市因子の種類は、メッシュ平年値 2010 と変わらない。その定義とパラメータを表 2 に示した。ここでは、メッシュ平年値 2010 の解説に沿って算出方法を記述する。

地形因子・都市因子を求めるためには、第 3.1 節のとおり標高・傾斜度 3 次メッシュデータと土地利用 3 次メッシュデータを用いた。3 次メッシュは経度差 45 秒、緯度差 30 秒の区画なので、その辺の長さは地域によって異なり必ずしも正確に 1km ではない。しかし、地形因子・都市因子を計算するときには、簡単のために 3 次メッシュを 1km 四方の正方形とみなした。

地形因子は、表 3 に示す 16 個である。このうち、緯度、経度、海岸距離を除く 13 個は、標高・傾斜度 3 次メッシュデータの平均標高(以後は単に標高と呼ぶ)から求めた。図 3 に算出方法の図解例を示す。また、これら 13 個の地形因子は、地形の規模を表すパラメータ $N(\text{km})$ を変えることによって様々な規模の地形を表現できるようにした。さらに、東開放度、西開放度、南開放度、北開放度、開放度の 5 個の地形因子では、標高差を表すパラメータ $\Delta H(\text{m})$ も -200, -100, +100, +200 の 4 通りの値を取れるようにした。なお、地形因子を求める際に、海水域のみのメッシュの標高は 0m とした。

地形因子におけるパラメータ $N(\text{km})$ が取り得る値は次のようにした。まず、気温については、標高の違いに大きく影響されるため、標高のパラメータ $N(\text{km})$ をもっとも細かい 1 に固定した。その他の地形

因子が気温推定に与える影響は地域や季節によって変わると思われるので、そのパラメータ N(km)は 1 から 41 まで(起伏量と陸度では 3 から 41 まで)幅広い値を取れるようにした。一方、降水は、数 km スケールの雲によってもたらされるものの、その雲の盛衰に影響を与える地形は 10km 規模である。このため、降水量と最深積雪においては、どの地形因子についてもパラメータ N(km)を 11,13,15,・・・,41 という大きな値だけに制限した。また、降水量等と同様に雲の盛衰が影響し、3.2.2(4)で述べるように局所的な地形の影響を除外する日照時間(実測)についても、降水量等と同様とした。

都市因子は、人工被覆率の 1 個のみとした。この値は土地利用 3 次メッシュデータの建物用地と幹線交通要地、その他の用地¹を合わせた土地の面積が、当該メッシュの面積に占める割合である。地形因子と同様に、パラメータ N(km)を 1 から 41 までの範囲で変えることにより、様々な規模の都市の効果を表現できるようにした。都市因子は、人口被覆が大きく影響を与える気象要素である気温のみに適用した。

上記の地形因子・都市因子のパラメータは、気候値との相関係数の絶対値が最大になるように決めた。

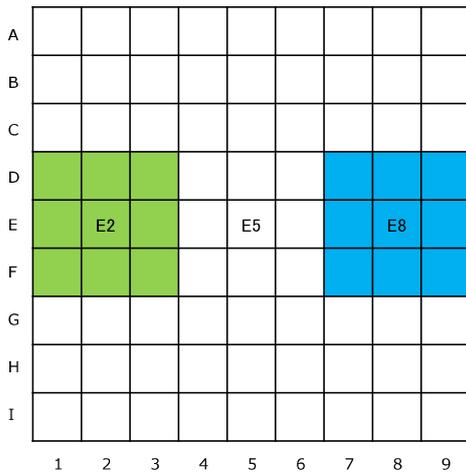
¹ 「その他の用地」は、運動競技場、野球場、空港などの用地であるが、自衛隊の広大な演習場も含まれる。演習場の土地が気温の解析に影響を与える可能性があるが、演習場内で産業が営まれることはなく、誤差が利用者を与える影響は小さい。それよりも都市部の気温の解析に与える影響が大きいと判断した。

表3 地形因子・都市因子の定義とパラメータ N、ΔH の取り得る値

地形因子・都市因子			パラメータ		
因子名	定義	単位	N(km)		ΔH(m)
			気温	気温以外	
緯度	メッシュ中心の緯度	10 ⁻⁴ 度			
経度	メッシュ中心の経度-100度	10 ⁻⁴ 度			
海岸	海水域のメッシュまでの最短距離(最大値は80kmとする。)	10 ⁻³ km			
標高	当該メッシュを中心とするN km四方の領域にあるメッシュの標高の平均値	m	1に固定	11, 13, 15 ..., 41 (16通り)	
起伏量	当該メッシュを中心とするN km四方の領域にあるメッシュの1km平均標高の標準偏差	m	3, 5, 7, ..., 41 (20通り)	11, 13, 15 ..., 41 (16通り)	
陸度	当該メッシュを中心とするN km四方の領域にあるメッシュのうち、海水域のみではないメッシュの割合	%	3, 5, 7, ..., 41 (20通り)	11, 13, 15 ..., 41 (16通り)	
西・東 勾配	$((N \text{ km 東のメッシュの } N \text{ km 平均標高}) - (N \text{ km 西のメッシュの } N \text{ km 平均標高})) / (2N)$	m km ⁻¹	1, 3, 5, ..., 41 (21通り)	11, 13, 15 ..., 41 (16通り)	
南・北 勾配	$((N \text{ km 北のメッシュの } N \text{ km 平均標高}) - (N \text{ km 南のメッシュの } N \text{ km 平均標高})) / (2N)$	m km ⁻¹	1, 3, 5, ..., 41 (21通り)	11, 13, 15 ..., 41 (16通り)	
南西・北東 勾配	$((2^{0.5}N \text{ km 北東のメッシュの } N \text{ km 平均標高}) - (2^{0.5}N \text{ km 南西のメッシュの } N \text{ km 平均標高})) / (2 \times 2^{0.5}N)$	m km ⁻¹	1, 3, 5, ..., 41 (21通り)	11, 13, 15 ..., 41 (16通り)	
南東・北西 勾配	$((2^{0.5}N \text{ km 北西のメッシュの } N \text{ km 平均標高}) - (2^{0.5}N \text{ km 南東のメッシュの } N \text{ km 平均標高})) / (2 \times 2^{0.5}N)$	m km ⁻¹	1, 3, 5, ..., 41 (21通り)	11, 13, 15 ..., 41 (16通り)	

地形因子・都市因子			パラメータ		
因子名	定義	単位	N(km)		ΔH(m)
			気温	気温以外	
勾配量	西・東勾配を W、南・北勾配を S としたとき $((W^2+S^2)/2)^{0.5}$ $((N \text{ km 西・東勾配})^2 + (N \text{ km 南・北勾配})^2) / 2)^{0.5}$	m km ⁻¹	1, 3, 5, …, 41 (21 通り)	11, 13, 15 …, 41 (16 通り)	
東開放度	当該メッシュを中心とする 2N+1 km 四方の領域の東端のメッシュ 2N+1 個のうち、「N km 平均標高 < 当該メッシュの N km 平均標高 + ΔH m」の条件を満たすものの割合	%	1, 3, 5, …, 41 (21 通り)	11, 13, 15 …, 41 (16 通り)	-200 -100 +100 +200 (4 通り)
西開放度	当該メッシュを中心とする 2N+1 km 四方の領域の西端のメッシュ 2N+1 個のうち、「N km 平均標高 < 当該メッシュの N km 平均標高 + ΔH m」の条件を満たすものの割合	%	1, 3, 5, …, 41 (21 通り)	11, 13, 15 …, 41 (16 通り)	-200 -100 +100 +200 (4 通り)
南開放度	当該メッシュを中心とする 2N+1 km 四方の領域の南端のメッシュ 2N+1 個のうち、「N km 平均標高 < 当該メッシュの N km 平均標高 + ΔH m」の条件を満たすものの割合	%	1, 3, 5, …, 41 (21 通り)	11, 13, 15 …, 41 (16 通り)	-200 -100 +100 +200 (4 通り)
北開放度	当該メッシュを中心とする 2N+1 km 四方の領域の北端のメッシュ 2N+1 個のうち、「N km 平均標高 < 当該メッシュの N km 平均標高 + ΔH m」の条件を満たすものの割合	%	1, 3, 5, …, 41 (21 通り)	11, 13, 15 …, 41 (16 通り)	-200 -100 +100 +200 (4 通り)

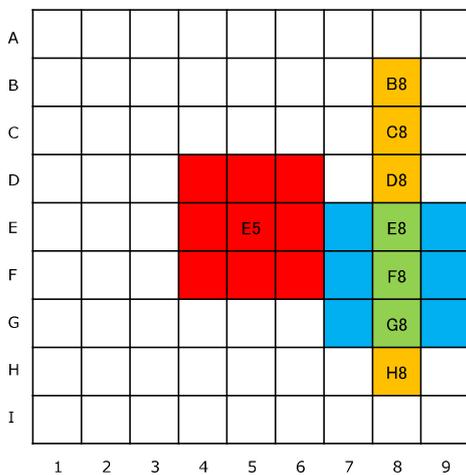
地形因子・都市因子			パラメータ		
因子名	定義	単位	N(km)		ΔH(m)
			気温	気温以外	
開放度	当該メッシュを中心とする2N+1km四方の領域の東端・西端・北端・南端のメッシュ8N個のうち、「N km 平均標高<当該メッシュの N km 平均標高+ΔH m」の条件を満たすものの割合	%	1, 3, 5, ..., 41 (21 通り)	11, 13, 15 ..., 41 (16 通り)	-200 -100 +100 +200 (4 通り)
人工被覆率	当該メッシュを中心とするN km四方の領域にあるメッシュの、建物用地+幹線交通用地+その他の用地が占める割合の平均値	%	1, 3, 5, ..., 41 (21 通り)		



(a) 西・東勾配

$$\frac{((N \text{ km 東のメッシュの } N \text{ km 平均標高}) - (N \text{ km 西のメッシュの } N \text{ km 平均標高}))}{(2N)}$$

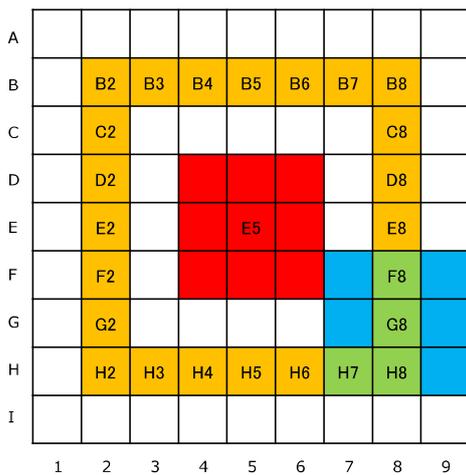
メッシュ E5 における西・東勾配は、3km 東のメッシュ E8 の 3km 平均標高 (青色背景) から、3km 西のメッシュ E2 の 3km 平均標高 (緑色背景) を引き、 $6 (=2 \times 3)$ で割ったものとなる。



(b) 東開放度

当該メッシュを中心とする $2N+1$ km 四方の領域の東端のメッシュ $2N+1$ 個のうち、「 N km 平均標高 < 当該メッシュの N km 平均標高 + ΔH m」の条件を満たすものの割合

メッシュ E5 における東開放度は、メッシュ E5 を中心とする $7 (=2 \times 3 + 1)$ km 四方の領域の東端のメッシュ 7 ($=2 \times 3 + 1$) 個 (オレンジ色背景と緑色背景) のうち、「3km 平均標高 (青色背景と緑色背景は F8 の例) < 当該メッシュ E5 の 3km 平均標高 (赤色背景) + ΔH m」の条件を満たすメッシュの割合となる。



(c) 開放度

当該メッシュを中心とする $2N+1$ km 四方の領域の東端・西端・北端・南端のメッシュ $8N$ 個のうち、「 N km 平均標高 < 当該メッシュの N km 平均標高 + ΔH m」の条件を満たすものの割合

メッシュ E5 における開放度は、メッシュ E5 を中心とする $7 (=2 \times 3 + 1)$ km 四方の領域の東端・西端・北端・南端のメッシュ $24 (=8 \times 3)$ 個 (オレンジ色背景と緑色背景) のうち、「3km 平均標高 (青色背景と緑色背景は G8 の例) < 当該メッシュ E5 の 3km 平均標高 (赤色背景) + ΔH m」の条件を満たすメッシュの割合となる。

図 3 地形因子算出方法の図解例

(a) 西・東勾配。(b) 東開放度。(c) 開放度。いずれも地形因子の規模を示すパラメータ N (km) が 3 の場合を例とし、格子は 9×9 個の 1km メッシュを表す。

3.2.2. 重回帰分析に用いる観測値の補正

(1) 使用するデータ

重回帰分析に用いる観測値は気象官署とアメダスの平年値(気象庁 2021、気象庁 2022)で、その気象要素は平均気温、日最高気温、日最低気温、降水量、最深積雪、日照時間(実測)の6種類である。

日照計の違い、日最高・日最低気温サンプリング間隔の違いによる補正は平年値を求める時点で行っているため、メッシュ平年値作成の過程では行っていない。最深積雪について、気象官署とアメダスでは観測点数が323地点(年別値では308地点)と少ないことから、部外観測所(国土交通省水管理・国土保全局56地点、北海道庁17地点、防災科学技術研究所10点)のデータも使用した。

(2) 統計期間の違いの補正

平年値の統計期間は1991～2020年の30年間であるが、アメダスでは移転などの都合で統計期間が30年に満たない地点がある。そこで、メッシュ平年値2010と同様に日本気象協会(1982)の手法で統計期間が30年に満たない地点の平年値を1991～2020年の30年平年値に補正した。途中で欠測等で平年値を求めるデータが抜けている年がある場合にも補正を行った。その補正方法を以下に述べる。

月別に補正を行う観測点の統計開始・欠測状況から、近隣で30年の統計期間がある観測点4地点の年別の値を、欠測を含む地点の統計開始・欠測状況と同様にデータを抜いて平均値を求め、当該観測点の平年値との差(気温)・比(降水量、最深積雪、日照時間)を出す。例えば、1995年に観測を開始し、2001年のデータが欠測となっている場合、近隣で30年の統計期間がある観測点における1991～1994年と2001年のデータを抜いた25年平均値を出し、当該観測点の平年値との差や比を出す。なお、ここで用いる年別の値は平年値を求めるために日照計の違い、気温のサンプリング間隔、移転の影響を補正した累年値である。こうして求めた値を補正対象の観測点からの距離の逆数に応じて足し合わせて補正を行う差・比とし、それぞれ足したり(気温)掛けたりして(降水量、最深積雪、日照時間)30年の平均値に補正した。

(3) 気温の高度補正

気温は標高の影響を強く受ける。重回帰分析では地形因子の1つとして各メッシュの1km平均標高を使うので、観測点とそれを含むメッシュとの標高の違いによる気温の差を補正しなければ、気温と標高との関係を正しく分析することができない。そこで、観測点の気温は、100mにつき0.6℃の気温減率を仮定して、観測点を含むメッシュの標高における気温に補正した。

(4) 全天日射量に用いる日照時間(実測)における局所的な地形の影響の除外

日照時間(実測)の局所的な地形による日陰の影響を取り除くために、日照時間(実測)と可照時間の比を求め、この比がある一定以下の値にしかならない地点のデータは使わなかった。具体的には、3、6、9、12月の各月で日照時間(実測)の最も長い日と可照時間の比を求め、2016～2020年の5年間で最大となる値を各月ごとに求め、その値を平均した。雲仙岳を除く官署の中で最も値の小さい油津の値(0.8455)よりも小さい地点のデータは除外した。

(5) 部外観測所の最深積雪の品質管理

部外観測所の積雪データは、品質管理を行った上で最深積雪のメッシュ平年値の作成に用いた。具体的には、時別値から異常な飛び跳ねや同値継続となったデータを取り除き、有効な時別値が1か月の8割以上ある場合に月最深積雪を求め、これが8年分以上存在する月について平年値を求めた。最深積雪が対象とする月(1、2、3、12月)のうち1つ以上の月で平年値を求めて最深積雪の計算に用いた地点を図4に示す。

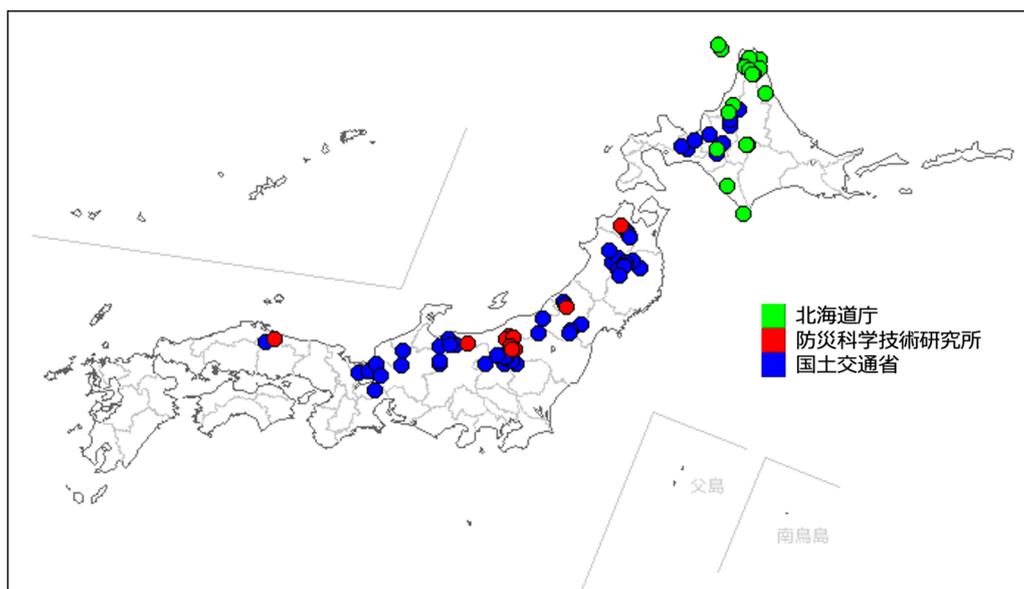


図4 最深積雪の計算に用いた部外観測所の分布図

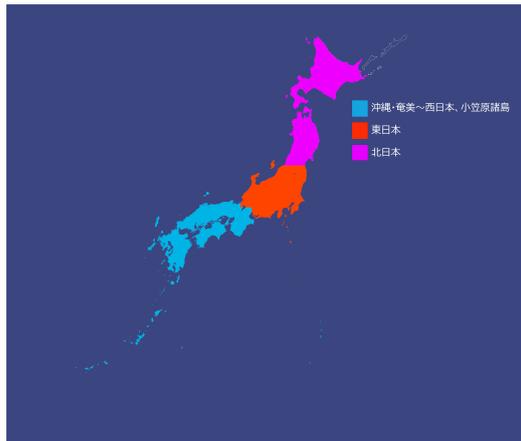
地点数は、北海道庁が17、防災科学技術研究所が10、国土交通省(水管理・国土保全局)が56である。

3.2.3. 重回帰分析

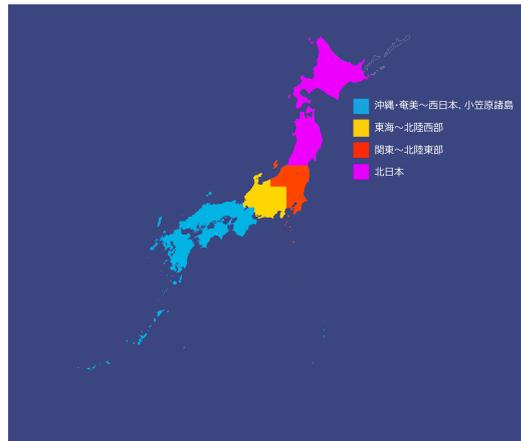
前項で準備した平均気温、日最高気温、日最低気温、降水量、日照時間(実測)、最深積雪のデータと、16個の地形因子及び1個の都市因子(都市因子は気温のみで使用)との関係を重回帰分析した。最深積雪については、0cmの地点は除いて分析した。そして、要素別/月別に地形因子・都市因子から気候値を推定する重回帰式を作成した。

地形因子・都市因子のうち重回帰式の説明変数とするものは、変数増減法により選択した。変数を取り入れるときも取り除くときも基準となるp値は0.05とした。また、回帰推定値の誤差のt値に対する両側確率を使い、有意水準を $0.05/k$ (kは重回帰分析に用いた観測点の数)として異常値を検出した。異常値が見つかった場合には、その観測点を除いて重回帰分析をやり直した。

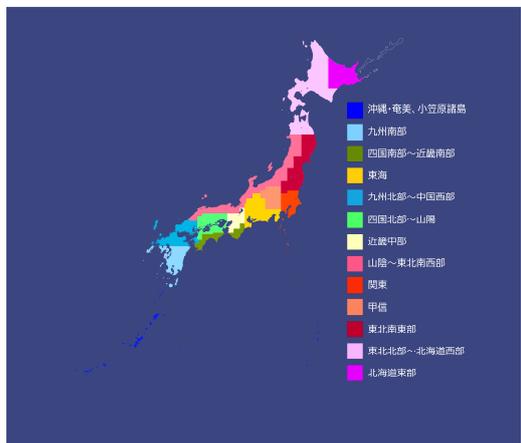
重回帰分析は、分割した領域毎に実施した(図5)。領域分割はメッシュ平年値2010のものを基本としたが、気温と降水量は小笠原諸島と沖縄・奄美を1つの領域とした。なお、計算領域の境界でメッシュ平年値をなめらかに分布させる処理を施すために、隣り合う領域同士は20kmの幅(2次メッシュ2つ)で互いに重なるようにした。



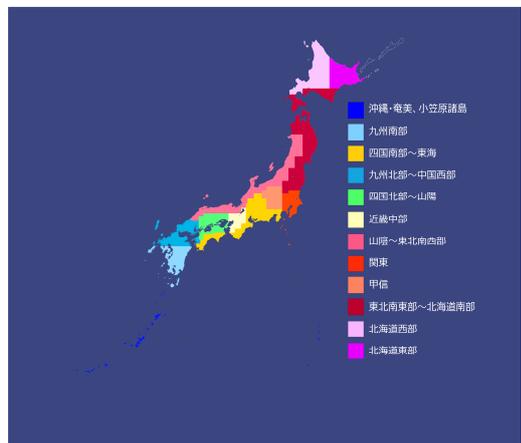
(a) 平均気温、日最低気温



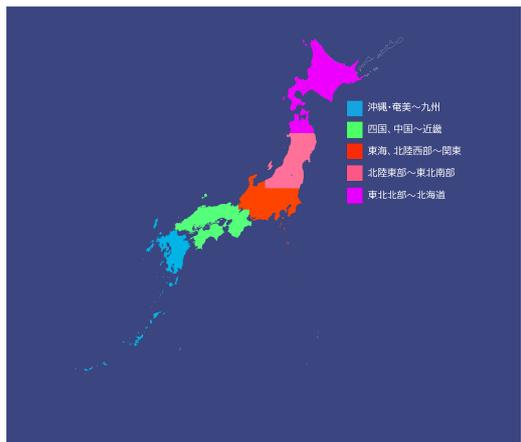
(b) 日最高気温



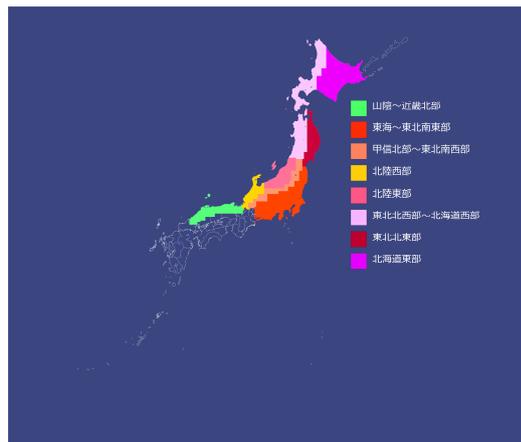
(c) 降水量(1~3月、10~12月)



(d) 降水量(4~9月)



(e) 日照時間(実測)



(f) 最深積雪

図 5 重回帰分析の計算領域

3.2.4. 重回帰分析の適用と補正

(1) 重回帰分析の計算領域の境界における処理

重回帰分析の計算領域の境界では、メッシュ平年値をなめらかに分布させるために次のような平滑処理を施した。

隣り合う領域同士は 20km の幅で互いに重なっている。2 つの領域 A1 と A2 が重なった部分では、領域 A1 で求めたメッシュ平年値と領域 A2 で求めたメッシュ平年値を、メッシュの計算領域からの距離に比例した重みをつけて平均した。3 つの領域が重なる部分でも同様な考えに基づき、3 つの領域で求めたメッシュ平年値を重み付き平均した。

領域 A1、A2、A3 で求めたメッシュ平年値をそれぞれ $A1(x, y)$ 、 $A2(x, y)$ 、 $A3(x, y)$ としたとき、平滑値 $M(x, y)$ を求める式は次のとおりとなる。ただし、 x と y は、重ね合わせの中心を原点とした各メッシュの中心までの距離である $-9.5, -8.5, -7.5, \dots, 7.5, 8.5, 9.5$ の値を取る。

領域 A1 と A2 が単純に重なる場合

$$M(x, y) = (0.5 - 0.05x) \times A1(x, y) + (0.5 + 0.05x) \times A2(x, y)$$

領域 A1 が角の場合 (A1 の北と東、北東が A2 の事例)

$$M(x, y) = (0.5 - 0.05x) (0.5 - 0.05y) \times A1(x, y) \\ + ((0.5 + 0.05x) (0.5 - 0.05y) + (0.5 + 0.05y)) \times A2(x, y)$$

領域 A1、A2、A3 が重なる場合 (A1、A2 が西と東に並び、それぞれの北に A3 がある事例)

$$M(x, y) = (0.5 - 0.05x) (0.5 - 0.05y) \times A1(x, y) \\ + (0.5 + 0.05x) (0.5 - 0.05y) \times A2(x, y) \\ + (0.5 + 0.05y) \times A3(x, y)$$

(2) 回帰推定値の誤差の補正

観測点を含むメッシュで、回帰推定値と観測値との差 (降水量、最深積雪、日照時間 (実測) は比) を求め、これをすべてのメッシュに内挿して回帰推定値を補正した。具体的には、当該メッシュの補正差 (比) D は、観測点 n を含むメッシュの差 (比) を D_n 、当該メッシュとの距離を R_n とすると、メッシュ平年値 2010 では次の①式で内挿したが、メッシュ平年値 2020 では次の②式で内挿した。どちらも当該メッシュから距離が近い順に 4 地点の観測値を用いている。

$$D = \frac{\sum D_n R_n^{-1}}{\sum R_n^{-1}} \quad \dots \textcircled{1}$$

$$D = \frac{\sum D_n e^{-0.1 R_n}}{\sum e^{-0.1 R_n}} \quad \dots \textcircled{2}$$

重回帰分析を行うときには、領域内の広い範囲で安定した係数を得るため、観測値が異常値と判定された地点、および最深積雪については観測値が 0cm の地点を除いたが、回帰推定値の誤差の補正には、当該メッシュ近傍における回帰推定値の誤差の特徴を反映させるために、これらの観測点も利用した。ただし最深積雪について、補正係数が 3 倍を超える地点は取り除いた。全天日射量については観測点が少なく正しく補正が行えないことから補正は行わなかった。回帰推定値にこの補正を施したも

のが、メッシュ平年値となる。この補正により、観測点を含むメッシュでは、平均気温、日最高気温、日最低気温、降水量及び最深積雪のメッシュ平年値が観測値と一致する。

(3) 下限値・上限値の設定

一部のメッシュでは最深積雪のメッシュ平年値が負の値になることもある。こうした問題を解消するため、いくつかの気象要素には下限あるいは上限の値を設定し、メッシュ平年値がその限界を超えた場合には下限値あるいは上限値に修正した。

最深積雪では 0cm、降水量では 14.0mm を下限値とした。降水量の下限値は、全月・全地点の観測値のうちで最も小さいものを採用した。また、あるメッシュの平均気温を T_{mean} (°C) とするとき、同じメッシュの日最高気温の下限値は $T_{\text{mean}} + 1.9$ (°C)、日最低気温の上限値は $T_{\text{mean}} - 1.6$ (°C) とした。すなわち、日最高気温や日最低気温と平均気温との差の絶対値に下限を設けたわけであるが、この下限値としては全月・全地点の観測値のうちで最も小さいものを採用した。

(4) 日別値の算出

平均気温、日最高気温及び日最低気温について、各月のメッシュ平年値を求めたのち、その値を月の中日の値とし、内挿して各日の値を求めた。さらに、KZ フィルター (9 日間移動平均を 3 回繰り返す方法を採用) を用いて平滑化し、これを日別値とした。

(5) 年統計値の算出

各月のメッシュ平年値を求めたのち、月平均値を平均して年平均値を求め、月合計値を合計して年合計値を求めた。ただし、最深積雪については、月最大値のうち最も大きいものを年最大値とした。

3.2.5. 日照時間(実測)から全天日射量を推定する式の作成

全天日射量は観測点が少ないために気候値と地形因子の関係を十分分析することが出来ない。そこで、重回帰分析により求めたメッシュごとの日照時間(実測)を用いて、メッシュ平年値 2010 と同様に、月ごとに各観測点の全天日射量(大気外水平面日射量で割った値)、日照時間(実測)(天文可照時間で割った値)、太陽高度指数(南中時太陽高度の正弦)との関係を回帰分析し、この分析で得られた月別の回帰式を使い、メッシュごとの全天日射量を求めた。

なお、メッシュ平年値 2010 と同様に、回帰式は北緯 29 度を境に 2 つの領域で求めるとともに、近藤ほか(1996)の方法で高度補正を行い大気路程の影響を表現した。

全天日射量(大気外水平面日射量で割った値) Q/Q_0 は、次の式で表される。定数項と回帰係数の値は表 4 のとおりである。

$$\frac{Q}{Q_0} = d_0 + d_1 \left(\frac{S}{S_0}\right) + d_2 U \quad (\text{北緯 } 29 \text{ 度より北の領域})$$

$$\frac{Q}{Q_0} = d_0 + d_1 \left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (\text{北緯 } 29 \text{ 度より南の領域})$$

Q 1000hPa における全天日射量(日積算量の月平均値、単位は 0.1MJm^{-2})

Q_0 大気外水平面日射量(日積算量の月平均値、単位は 0.1MJm^{-2})

S 日照時間(実測)(月合計値、単位は 0.1 時間)

S_0 天文可照時間(月合計値、単位は 0.1 時間)

U 太陽高度指数(南中時太陽高度の正弦、月平均値)

d_0 定数項

d_1, d_2 回帰係数

全天日射量(大気外水平面日射量で割った値) Q/Q_0 は、ある標高における値から 1000hPa における値を引いたものを標高補正値 r は、次のとおりとなる。

$$r = 0.32 \times (1 - P/1000) \quad (\text{北緯 } 29 \text{ 度より南の領域})$$

P (hPa)は現地気圧を表し、近藤ほか(1996)が用いた大気モデルの標高と現地気圧の関係(表 5)に従って標高を現地気圧に補正し、これを用いてメッシュごとの全天日射量を求めた。

表 4 日照時間から全天日射量を推定する回帰式の回帰係数

(a)北緯 29 度より北の領域

(b)北緯 29 度より南の領域

月	定数項と回帰係数		
	d0	d1	d2
1	0.409	0.520	-0.334
2	0.537	0.527	-0.461
3	0.619	0.564	-0.524
4	0.509	0.556	-0.335
5	0.491	0.544	-0.287
6	0.844	0.599	-0.660
7	0.721	0.562	-0.526
8	0.411	0.534	-0.201
9	0.281	0.566	-0.090
10	0.225	0.545	-0.028
11	0.218	0.542	-0.033
12	0.305	0.535	-0.193

月	定数項と回帰係数	
	d0	d0
1	0.180	0.694
2	0.179	0.706
3	0.177	0.691
4	0.207	0.626
5	0.224	0.588
6	0.221	0.577
7	0.245	0.517
8	0.231	0.532
9	0.216	0.569
10	0.202	0.613
11	0.207	0.624
12	0.191	0.650

表 5 近藤ほか(1996)が用いた大気モデルの標高と現地気圧の関係

標高(m)	現地気圧(hPa)
5000	540
3000	700
1000	900
0	1013

3.3. 推計気象分布を用いる方法

日照時間は、衛星観測データを用いて推定した推計気象分布(日照時間)は過去約5年分のデータしかないため、観測値を用いて5年又は6年平均値を30年平均値に補正した。

最初に、2015年7月から2020年12月のデータを用いて、各メッシュの月ごとの5年平均値(1~6月)又は6年平均値(7~12月)を求める。次に気象官署及びアメダスにおいて同期間の観測値を用いて5年又は6年平均値を求め、これと各観測点の平年値との比を求める。これが各観測点における5年又は6年平均値から30年平均値を求める補正値となる。この補正値を3.2.4(2)の②と同じ方法で内挿し、これを当該メッシュの補正値とし、最初に求めた推計気象分布(日照時間)の5年又は6年平均値に掛け合わせ、これをメッシュ平年値とした。ただし、補正結果が負となった場合は0時間とした。

なお、気象官署のうち、雲仙岳、網代、油津の3地点については観測値と推計気象分布(日照時間)に系統的な違いがみられることから、除外した。

4. 結果

メッシュ平年値は、全天日射量を除き観測点を含むメッシュでは誤差が 0 になるように補正されているため、そのままでは精度を調べる事が出来ない。そこで、観測点のうち 5%を均等に分布するように選んで独立資料とし、残りの 95%の観測点(従属資料)だけを使って精度検証用のメッシュ平年値を作成した。また、日照時間については 5 年又は 6 年平均値を 30 年平均値に補正する際に、同様の方法で従属資料だけを用いて精度検証用のメッシュ平年値を作成した。このときには、独立資料はメッシュ平年値作成に用いていないので、独立資料の観測値 OBS とその観測点を含むメッシュのメッシュ平年値 MND とは必ずしも一致しない。この両者の差 $MND - OBS$ を独立資料で調べたメッシュ平年値の誤差として、精度評価を行った。

一方で、独立資料とする観測点の選び方により、偏った精度評価が得られる場合がある。このような偶然性も考慮し、独立資料が異なる 3 つのパターンで精度評価を行い、その平均値も含めて総合的に精度評価を行うこととした。

結果を表 5 に示す。全月を合わせたデータについてみると、2 乗平均平方根誤差(気温以外は観測値平均に対する比も括弧内に示す)は、平均気温 0.5°C、日最高気温 0.6°C、日最低気温 0.8°C、降水量 23.6mm(16%)、日照時間 5.7 時間(4%)、最深積雪 33cm(54%)であった。バイアスはどの要素も 0 に近い。

なお、全天日射量については観測点を含むメッシュであっても誤差が 0 になるような補正は行わなかったため、観測点を含むメッシュでの各メッシュの $MND - OBS$ を日照時間(実測)から全天日射量を推定する式の誤差として求めた。また、全天日射量は日照時間(実測)から推定するので、日照時間(実測)メッシュ平年値の誤差と、日照時間(実測)から全天日射量を推定する式の誤差とを足したものが、全天日射量メッシュ気候値のおよその誤差を表すと考えられる。その誤差は全月を合わせた場合には観測値の 9%になる。

メッシュ平年値 2010 における誤差は、平均気温 0.4°C、日最高気温 0.5°C、日最低気温 0.9°C、降水量 26.1mm(18%)、日照時間 9.9 時間(7%)、最深積雪 25cm(36%)、全天日射量 10%であり、最深積雪以外は大きな違いはない。最深積雪は誤差が大きくなったが、メッシュ平年値 2020 の最深積雪の観測値平均に対する 2 乗平均平方根誤差の比は、平均の 54%に対して個別の独立資料では 47%、64%、51%と大きな違いがあった。最深積雪の誤差は独立資料の選び方による変化量が大いことに注意が必要である。

表 5 独立資料で調べたメッシュ平年値の誤差

バイアスはメッシュ平年値から観測値を引いた値の平均値、RMSE は 2 乗平均平方根誤差を表す。

(a)～(h)では、3 パターンの独立資料の平均値と括弧内に個々の値を表す。

(a)平均気温

月	観測点数	バイアス(°C)	RMSE(°C)
1	45(45、45、45)	0.1(0.1、0.0、0.1)	0.6(0.7、0.5、0.6)
2	45(45、45、45)	0.0(0.0、0.0、0.0)	0.5(0.5、0.5、0.5)
3	45(45、45、45)	0.0(0.0、0.0、0.0)	0.4(0.4、0.4、0.4)
4	45(45、45、45)	0.1(0.0、0.1、0.1)	0.5(0.4、0.5、0.5)
5	45(45、45、45)	0.0(0.0、0.1、0.0)	0.4(0.3、0.5、0.3)
6	45(45、45、45)	0.0(0.0、0.1、0.0)	0.4(0.4、0.5、0.3)
7	45(45、45、45)	0.0(0.0、0.1、0.0)	0.4(0.4、0.5、0.4)
8	45(45、45、45)	0.0(-0.1、0.1、0.0)	0.4(0.4、0.5、0.4)
9	45(45、45、45)	0.0(0.0、0.1、0.0)	0.5(0.6、0.5、0.4)
10	45(45、45、45)	0.1(0.1、0.1、0.0)	0.6(0.7、0.5、0.5)
11	45(45、45、45)	0.1(0.1、0.0、0.1)	0.6(0.6、0.5、0.6)
12	45(45、45、45)	0.1(0.1、0.0、0.1)	0.6(0.7、0.6、0.6)
全月	540(540、540、540)	0.0(0.0、0.1、0.0)	0.5(0.5、0.5、0.5)

(b)日最高気温

月	観測点数	バイアス(°C)	RMSE(°C)
1	45(45、45、45)	0.1(0.1、0.1、0.0)	0.5(0.6、0.4、0.4)
2	45(45、45、45)	0.0(0.0、0.1、0.0)	0.4(0.5、0.4、0.4)
3	45(45、45、45)	0.0(0.0、0.1、0.0)	0.5(0.6、0.5、0.4)
4	45(45、45、45)	0.1(0.0、0.2、0.0)	0.6(0.9、0.6、0.4)
5	45(45、45、45)	0.0(0.0、0.2、-0.1)	0.8(1.0、0.7、0.6)
6	45(45、45、45)	0.1(0.0、0.3、-0.1)	0.8(1.0、0.8、0.6)
7	45(45、45、45)	0.0(0.0、0.3、-0.2)	0.8(0.9、0.7、0.7)
8	45(45、45、45)	0.0(-0.1、0.2、-0.1)	0.7(0.7、0.7、0.6)
9	45(45、45、45)	0.1(0.0、0.2、0.0)	0.6(0.6、0.7、0.4)
10	45(45、45、45)	0.1(0.1、0.1、0.0)	0.5(0.6、0.5、0.3)
11	45(45、45、45)	0.1(0.2、0.1、0.0)	0.5(0.7、0.4、0.3)
12	45(45、45、45)	0.1(0.1、0.1、0.0)	0.4(0.6、0.4、0.3)
全月	540(540、540、540)	0.1(0.0、0.2、0.0)	0.6(0.7、0.6、0.5)

(c) 日最低気温

月	観測点数	バイアス(°C)	RMSE(°C)
1	45(45、45、45)	0.1(0.0、0.1、0.1)	1.2(1.3、1.0、1.2)
2	45(45、45、45)	0.0(-0.1、0.0、0.1)	1.1(1.3、0.9、1.2)
3	45(45、45、45)	0.0(0.0、0.0、0.0)	0.8(0.8、0.7、0.9)
4	45(45、45、45)	0.0(0.0、0.0、0.0)	0.7(0.6、0.7、0.9)
5	45(45、45、45)	0.0(0.0、0.0、0.0)	0.7(0.7、0.7、0.8)
6	45(45、45、45)	0.0(0.0、0.0、0.0)	0.6(0.6、0.5、0.6)
7	45(45、45、45)	0.0(-0.1、0.0、0.0)	0.4(0.4、0.4、0.5)
8	45(45、45、45)	0.0(-0.1、0.1、0.0)	0.6(0.6、0.5、0.6)
9	45(45、45、45)	0.0(0.0、0.1、0.0)	0.7(0.8、0.6、0.7)
10	45(45、45、45)	0.0(0.0、0.0、0.0)	1.0(1.1、0.8、1.0)
11	45(45、45、45)	0.0(0.0、0.0、0.1)	1.0(1.0、0.9、1.1)
12	45(45、45、45)	0.1(0.1、0.0、0.1)	1.0(1.0、0.9、1.2)
全月	540(540、540、540)	0.0(0.0、0.0、0.0)	0.8(0.9、0.7、0.9)

(d) 降水量

月	観測点数	バイアス(mm)	RMSE(mm)	観測値平均に対する RMSE の比(%)
1	62(62、62、62)	-0.1(0.3、-3.5、2.8)	21.7(23.1、23.1、18.9)	24(24、25、22)
2	62(62、62、62)	0.5(-1.5、0.0、2.9)	16.3(16.5、18.2、14.1)	20(19、22、19)
3	62(62、62、62)	-0.6(-1.7、-1.7、1.6)	15.8(18.2、15.5、13.6)	14(15、14、13)
4	62(62、62、62)	0.7(-3.0、2.2、2.8)	16.6(17.6、15.8、16.4)	14(14、14、14)
5	63(63、63、63)	-0.2(-1.7、0.7、0.5)	22.5(28.4、21.5、17.5)	15(19、15、12)
6	63(63、63、63)	-0.1(-1.4、0.2、0.8)	25.5(30.9、19.5、26.1)	13(15、10、13)
7	63(63、63、63)	1.2(1.4、1.4、0.8)	28.8(42.4、19.9、24.0)	13(18、9、11)
8	63(63、63、63)	3.3(1.0、4.1、4.8)	34.0(44.5、30.2、27.2)	18(23、16、15)
9	63(63、63、63)	3.5(6.2、1.9、2.4)	26.8(32.4、21.3、26.8)	13(15、10、13)
10	63(63、63、63)	-0.1(-0.6、4.2、-4.0)	18.7(19.8、17.8、18.4)	12(12、11、11)
11	62(62、62、63)	0.4(1.8、-1.6、1.1)	18.6(16.3、22.8、16.6)	17(15、21、16)
12	62(62、62、62)	1.7(0.5、3.4、1.3)	25.4(22.1、37.4、16.6)	25(22、37、17)
全月	750(750、750、751)	0.9(0.1、1.0、1.5)	23.6(27.7、22.7、20.3)	16(18、16、14)

(e) 日照時間

月	観測点数	バイアス(時間)	RMSE(時間)	観測値平均に対する RMSEの比(%)
1	41(41, 41, 41)	-0.1(0.5, -0.4, -0.3)	5.0(4.8, 6.3, 4.0)	4(4, 5, 4)
2	41(41, 41, 41)	-0.1(0.5, -0.6, -0.2)	4.5(4.3, 5.8, 3.5)	4(4, 5, 3)
3	41(41, 41, 41)	-0.1(1.0, -1.8, 0.4)	4.6(3.8, 6.2, 3.8)	3(2, 4, 2)
4	41(41, 41, 41)	-0.2(0.4, -0.9, -0.2)	5.5(5.8, 5.3, 5.3)	3(3, 3, 3)
5	41(41, 41, 41)	-0.2(1.1, -0.5, -1.3)	6.6(6.5, 6.7, 6.7)	3(3, 4, 4)
6	41(41, 41, 41)	-0.3(-0.7, 0.0, -0.1)	7.6(7.1, 7.6, 8.1)	5(5, 5, 6)
7	41(41, 41, 41)	0.2(0.7, 0.5, -0.5)	7.1(6.7, 6.6, 7.9)	5(4, 4, 5)
8	41(41, 41, 41)	0.1(2.1, -1.1, -0.8)	6.8(7.5, 7.0, 5.9)	4(4, 4, 3)
9	41(41, 41, 41)	-0.1(0.3, -0.4, -0.1)	5.2(4.9, 5.5, 5.2)	4(3, 4, 4)
10	41(41, 41, 41)	-0.3(-0.3, -0.1, -0.5)	4.3(4.4, 4.4, 4.0)	3(3, 3, 3)
11	41(41, 41, 41)	-0.1(0.5, -1.1, 0.2)	4.4(4.3, 5.0, 4.0)	4(3, 4, 3)
12	41(41, 41, 41)	-0.2(0.9, -0.7, -0.8)	5.2(4.8, 5.9, 4.8)	5(4, 5, 4)
全月	492(492, 492, 492)	-0.1(0.6, -0.6, -0.3)	5.7(5.5, 6.1, 5.5)	4(4, 4, 4)

(f) 最深積雪

月	観測点数	バイアス(cm)	RMSE(cm)	観測値平均に対する RMSEの比(%)
1	17(17, 18, 17)	4(7, 0, 6)	28(31, 20, 33)	38(45, 29, 40)
2	17(17, 17, 16)	4(-4, 2, 14)	41(25, 55, 43)	55(29, 77, 60)
3	16(16, 16, 17)	1(-11, 13, 0)	33(38, 29, 33)	62(54, 72, 59)
12	18(18, 18, 17)	0(5, 1, -6)	25(26, 26, 22)	61(70, 72, 42)
全月	68(68, 69, 67)	2(0, 4, 3)	33(31, 35, 33)	54(47, 64, 51)

(g) 全天日射量

月	実測値から求めた日照時間メッシュ平年値の誤差 ERR1 (%)	日照時間から全天日射量を推定する式の誤差 ERR2 (%)	全天日射量メッシュ平年値の誤差 ERR1 + ERR2 (%)
1	11 (13, 10, 9)	4	15 (17, 14, 13)
2	9 (10, 9, 8)	3	12 (13, 12, 11)
3	7 (7, 8, 7)	2	9 (9, 10, 9)
4	4 (4, 5, 3)	2	6 (6, 7, 5)
5	4 (4, 4, 4)	2	6 (6, 6, 6)
6	7 (7, 6, 7)	3	10 (10, 9, 10)
7	7 (7, 6, 8)	2	9 (9, 8, 10)
8	6 (6, 7, 7)	2	8 (8, 9, 9)
9	5 (5, 5, 5)	2	7 (7, 7, 7)
10	6 (6, 6, 5)	2	8 (8, 8, 7)
11	8 (7, 9, 7)	2	10 (9, 11, 9)
12	11 (13, 12, 9)	4	15 (17, 16, 13)
全月	7 (7, 7, 7)	2	9 (9, 9, 9)

(h) 実測値から求めた日照時間

月	観測点数	バイアス(時間)	RMSE(時間)	観測値平均に対するRMSEの比 ERR1 (%)
1	36 (36, 36, 36)	1.5 (-1.0, 5.2, 0.2)	12.7 (15.3, 11.6, 11.3)	11 (13, 10, 9)
2	36 (36, 36, 36)	1.6 (-0.5, 4.2, 1.0)	11.3 (12.2, 11.3, 10.3)	9 (10, 9, 8)
3	36 (36, 36, 36)	1.8 (0.2, 3.8, 1.3)	11.1 (10.6, 12.0, 10.6)	7 (7, 8, 7)
4	36 (36, 36, 36)	0.2 (0.0, 1.6, -1.0)	6.8 (6.2, 8.3, 6.0)	4 (4, 5, 3)
5	36 (36, 36, 36)	-0.3 (-2.4, 1.1, 0.4)	7.8 (7.5, 8.4, 7.4)	4 (4, 4, 4)
6	36 (36, 36, 36)	-1.0 (-3.7, 0.4, 0.3)	9.6 (11.0, 8.3, 9.6)	7 (7, 6, 7)
7	36 (36, 36, 36)	-1.0 (-2.4, -1.4, 0.8)	11.0 (11.2, 9.7, 12.0)	7 (7, 6, 8)
8	36 (36, 36, 36)	2.3 (0.6, 3.4, 3.0)	11.2 (10.1, 12.0, 11.6)	6 (6, 7, 7)
9	36 (36, 36, 36)	0.5 (0.0, 2.0, -0.4)	7.4 (7.3, 7.8, 7.0)	5 (5, 5, 5)
10	36 (36, 36, 36)	0.9 (0.2, 4.0, -1.6)	8.3 (8.8, 8.5, 7.6)	6 (6, 6, 5)
11	36 (36, 36, 36)	1.7 (1.0, 4.4, -0.2)	9.4 (9.0, 10.6, 8.7)	8 (7, 9, 7)
12	36 (36, 36, 36)	2.0 (0.7, 5.9, -0.6)	12.9 (14.7, 13.0, 11.1)	11 (13, 12, 9)
全月	432 (432, 432, 432)	0.9 (-0.6, 2.9, 0.3)	10.2 (10.7, 10.3, 9.6)	7 (7, 7, 7)

5. 謝辞

最深積雪のメッシュ平年値の作成にあたり、国土交通省水管理・国土保全局、北海道庁及び防災科学技術研究所から積雪計の観測データを提供いただいた。この場を借りて感謝申し上げます。

6. 参考文献

気象庁(2021):報道発表「平年値の更新について～平年値(統計期間 1991～2020 年)を作成しました～」. https://www.jma.go.jp/jma/press/2103/24a/210324_heinenchi.html (2022.02.16 閲覧).

気象庁(2022):2020 年平年値について 測候時報 88, 29-47

日本気象協会(1982):昭和 56 年度サンシャイン計画委託調査研究成果報告書 太陽エネルギーシステムの研究(気象調査)

上原由子・清野裕・原田昭彦(1989):広島県における日照時間及び日射量のメッシュ化について 農業気象 45(3), 159-163

近藤純正・徐健青・萩野谷成徳(1996):高地における日照時間と日射量の関係式について 水文・水資源学会誌 9(5), 468-472