

積雪寒冷地における気候変動の影響評価と適応策に関する研究 II

ーゼロクロッシング日数の変化とそれに伴う適応策についてー

Assessment of climate change impacts and adaptation measures in cold, snowy regions II

- Changes in zero-crossing days and the adaptation measures -

ABSTRACT

野口 泉*・濱原 和広**・芥川 智子***
山口 高志**・鈴木 啓明**・長谷川 祥樹**
小野 理****

NOGUCHI Izumi*, HAMAHARA Kazuhiro**

AKUTAGAWA Tomoko***

YAMAGUCHI Takashi**

SUZUKI Hiroaki**, HASEGAWA Yoshiki**

ONO Satoru****

受付：2021 年 11 月 22 日

受理：2022 年 3 月 8 日

* 環境保全部

** 研究推進室 研究調整グループ

*** 環境保全部 水環境保全グループ

**** 循環資源部

Long-term trend analysis of climate indices in January and February at 14 stations in Hokkaido was conducted using a 5-year moving average of observation data from the Japan Meteorological Agency. The temperature and zero-crossing days (days with both positive and negative reported temperatures) showed an increasing trend across most of the stations. As a result, the distribution of zero-crossing days will likely change from a two-peak pattern (first peak in early winter and second peak in early spring) to a one-peak pattern (peak in mid-winter) in the future. The shift to one-peak pattern may allow melting as a snow control measure instead of snow shoveling, where sufficient groundwater is available.

Corresponding Author NOGUCHI Izumi

izumi@hro.or.jp

Keywords: climate change, snow, the zero-crossing days, adaptation

はじめに

北海道の降雪・積雪に注目し、気候変動の影響とその適応を研究することを目的に、1-2 月の北海道内の 14 気象官署における 60 年間の気象要素について 5 か年の移動平均値を用いて長期変化傾向を解析した¹⁾。その結果、表 -1 に示すように、相対湿度は減少の傾向が、気温、絶対湿度、濡れ雪日数²⁾、ゼロクロッシング日数（最低気温が氷点下で最高気温が 0℃以上の日数）³⁾ においてはいずれも増加傾向が認められた。一方、最大積雪深は 7 地点で減少傾向の地点が見られた。また降雪深が自動測定となった 2006 年以降では、積算降雪深は減少の、雪水比（降雪深 / 降水量）は減少の傾向が見られた。なお降雪深は 2006 年から積雪深の自動測定による 1 時間ごとの差となり、は減少の傾向が見られた。なお降雪深は 2006 年から積雪深の自動測定による 1 時間ごとの差となり、それ以前の方法と異なることから、それに

伴う解析は区別して行っている。

これらの結果から、濡れた重い雪の増加により、傘の使用が増える等の影響が考えられた。また、ゼロクロッシング日数の増加に伴い、積もった雪が日中に融け、日没後に再凍結する場合が増えることが想定され、道路のポットホールやつるつる路面による転倒事故の増加などの影響が考えられた。こうした研究成果を踏まえ、本研究ではゼロクロッシング日数の増加に注目し、将来予測を行うとともに、その変化に伴う適応策の提案に繋がるトリガー指標の検討を行った。

2 解析方法

1. 過去から現在までの変化

1-2 月の気温とゼロクロッシング日数の過去から現在までの変化について解析を行った。1-2 月の北海道内 14 の気象

* ポットホール:道路の穴。融解凍結を繰り返すことで道路の亀裂が押し広げられ作られる。タイヤのパンクなどの原因になる。

表1 1-2月の60年間の気象要素における5か年の移動平均値の変化傾向

	気温 °C	絶対 湿度 g/m ³	相対 湿度 %	降水量 mm	最大 積雪深 cm	積算降雪深		雪水比		ゼロクロッシング 日数 日	濡れ雪 日数 日
						-2005	2006-	-2005	2006-		
						cm		cm/mm			
稚内	+	+	—	—	—	—	—	—	—	+	+
旭川	+	+	—	—	—	+	—	+	—	+	+
留萌	+	+	—	—	—	—	—	+	—	+	+
岩見沢	+	+	—	—	+	—	—	—	—	+	+
札幌	+	+	—	—	—	—	—	—	—	+	+
倶知安	+	+	—	—	—	—	—	+	—	+	+
網走	+	+	—	—	+	—	—	+	—	+	+
根室	+	+	—	—	+	—	—	+	—	+	+
釧路	+	+	—	—	—	—	—	—	—	+	+
帯広	+	+	—	—	—	—	—	—	—	+	+
室蘭	+	+	+	—	—	—	—	—	—	+	+
浦河	+	+	—	—	—	—	—	—	—	+	+
函館	+	+	—	+	—	—	—	—	—	+	+
江差	+	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+

+: 危険率1%で有意な増加傾向、—: 危険率1%で有意な減少傾向を示す。

官署（図-1 参照）における気温の気象要素について、1961～2021年の日毎の値を用いた。なお、根室および函館は観測点の移動などにより、それぞれ1980年、1973年からの解析となる。ゼロクロッシング日数は木村ら(2015)に従い、1日の内に最低気温が氷点下で、かつ最高気温が0℃を上回る日数を算出した。また、解析に際しては5か年の移動平均値を用いて行い、増加および減少傾向のトレンドはt分布による傾きの検定を行い、危険率1%にて有意性を確認した。

2. 将来予測

ゼロクロッシング日数の将来予測は「地球温暖化予測情報第9巻データセット」⁴⁾を使用した。このデータセットでは各月における①日最高気温が0℃以下の日数と②最低気温が0℃より高くなる日数が予測されている。各月の日数から①および②の日数を差し引くことで月毎のゼロクロッシング日数を算出した。またこのデータセットに含まれる1980年11月から2000年4月のモデルの計算値（毎冬、11月から4月の値を用い、対象期間を1980～1999年度と呼ぶ）の精度を検証するため、前述の図-1および2で示した北海道内14の気象官署中、計算値のない室蘭を除く13気象官署の実測値を1980～1999年度の同じ期間について算出した。将来予測についてはIPCC第5次評価報告書で用いられたRCP2.6および8.5シナリオによる21世紀末（2076年11月から2096年4月）のゼロクロッシング日数である⁴⁾。

結果と考察

1. 過去から現在までの気温およびゼロクロッシング日数の変化

1-2月の北海道内14の気象官署における気温は、すべての地点で有意な増加傾向が認められた（図-1 参照）。

ゼロクロッシング日数（図-2 参照）においてもいずれも有意な増加傾向が認められた。ゼロクロッシング日数は、1日の内に融解と再凍結を繰り返すことから、その増加は積もった雪が日中に溶け、日没後に再凍結する機会が増えることとなる。そのため、朝夕の転倒事故やアイスバーンによる交通事故の増加などが懸念されると考えられた。なお、路面が露出しやすく、アスファルト粉じんが問題化していたスパイクタイヤ装着時に比べ、1992年のスタッドレスタイヤ装着義務化後には歩行者の転倒事故は増加していることから長期変動傾向を見る場合には注意が必要である⁵⁾。また、ゼロクロッシング日数は近年増加するポットホール*の指標になり³⁾、その増加はパンクや車自体の破損など事故も引き起こすことから自治体の道路の点検や補修費用負担増が懸念されるところである。

2. ゼロクロッシング日数の将来予測

1) モデルの精度

予測結果はバイアス補正済みであるが、モデルの精度を確



全ての地点で有意な増加傾向を示した。

図1 1-2月の気温の変化



全ての地点で有意な増加傾向を示した。

図2 1-2月のゼロクロッシング日数の変化

表2 1980～1999年度と2076～2095年度(RCP2.5および8.5)の11～4月の平均ゼロクロッシング日数とその分布型

No.	地点	現在	RCP2.6	RCP8.5	No.	地点	現在	RCP2.6	RCP8.5	No.	地点	現在	RCP2.6	RCP8.5
1	宗谷岬	49	57	47	52	奥別	75	83	70	103	更別	92	112	115
2	船泊	60	65	52	53	神恵内	60	53	29	104	大津	96	118	114
3	坂巻志別	61	74	77	54	余市	86	88	73	105	大樹	105	130	119
4	沼川	75	84	82	55	岩内	75	73	49	106	厚良	105	121	104
5	香取	57	60	45	56	蘭越	89	93	74	107	穂別	102	112	113
6	豊富	69	86	80	57	真狩	56	70	68	108	大滝	78	94	97
7	坂崎別	63	78	72	58	喜茂別	82	96	95	109	森野	98	110	99
8	中岐別	74	91	95	59	黒松内	95	100	80	110	大岸	106	113	94
9	歌登	76	91	92	60	興留	80	100	84	111	白老	111	115	89
10	中川	71	88	88	61	西興留	79	96	96	112	鶴川	104	114	101
11	香取子府	66	83	83	62	湧別	78	90	92	113	伊達	81	72	51
12	美瑛	64	82	85	63	滝上	77	94	92	114	登別	72	72	56
13	名寄	74	89	88	64	常呂	78	88	91	115	日高	87	101	100
14	下川	70	86	88	65	逐鹿	86	101	103	116	日高門別	106	115	93
15	土別	69	89	81	66	佐呂間	88	105	109	117	新和	115	127	120
16	朝日	67	84	85	67	宇登呂	58	64	63	118	静内	100	100	76
17	和歌	65	83	81	68	生田原	83	104	111	119	三石	117	123	100
18	江丹別	76	94	94	69	北見	87	103	107	120	中札白	112	126	108
19	比布	70	86	82	70	小樽水	87	101	106	121	長万部	93	91	69
20	上川	69	83	86	71	斜里	83	96	86	122	八雲	91	89	66
21	東神楽	69	90	83	72	留辺蘂	73	97	102	123	森	88	78	55
22	美瑛	74	93	90	73	境野	81	105	112	124	南茅渾	80	72	49
23	上富良野	76	97	89	74	美瑛	86	101	109	125	大野	88	76	50
24	富良野	68	82	85	75	樺皮	88	103	95	126	木古内	90	70	36
25	留寿	78	90	89	76	中樺皮	100	123	113	127	松前	59	37	15
26	幾良	71	88	91	77	計根別	96	116	110	128	瀬棚	77	67	35
27	占冠	82	102	103	78	別海	108	130	119	129	今金	92	89	63
28	天塩	71	80	66	79	網走	73	75	64	130	奥尻	73	55	28
29	遠別	73	85	76	80	厚床	102	117	111	131	釧石	70	55	28
30	初山別	72	82	66	81	川勝	90	107	116	132	岩	95	91	70
31	瀬市	79	97	87	82	弟子屈	85	101	106	133	稚内	55	60	40
32	増毛	66	69	46	83	阿寒湖野	78	99	113	134	北見枝幸	66	78	79
33	根釧	80	101	88	84	樺皮	103	121	127	135	羽黒	79	85	55
34	根釧	80	77	57	85	根釧	115	141	134	136	雄武	80	97	95
35	厚田	87	85	57	86	中微別	109	131	130	137	留寿	78	86	64
36	新篠津	77	89	78	87	網走	103	120	117	138	旭川	82	106	87
37	山口	83	89	70	88	太田	95	114	104	139	網走	75	84	72
38	西野標	90	106	89	89	白糠	115	135	123	140	小樽	78	79	55
39	恵庭島松	87	100	88	90	陸別	92	113	127	141	札幌	80	82	60
40	支笏湖野	69	78	74	91	釧平原景野	75	90	105	142	岩見沢	81	89	73
41	朱鞠内	70	85	92	92	上士幌	81	95	100	143	帯広	101	107	91
42	根知内	66	84	85	93	足寄	110	132	119	144	釧路	107	122	97
43	石狩沼田	75	88	85	94	本別	96	113	109	145	根室	78	84	70
44	深川	71	90	84	95	新得	76	92	84	146	寿都	74	66	38
45	空知吉野	79	97	93	96	鹿追	77	94	80	147	苫小牧	104	103	72
46	浦川	74	94	80	97	網走	93	108	101	148	浦河	97	89	66
47	芦別	80	94	90	98	梓室	99	111	100	149	江差	73	50	21
48	月形	82	94	79	99	池田	107	129	119	150	函館	95	84	52
49	美瑛	79	86	73	100	浦幌	115	137	120	151	模範支	84	97	88
50	長沼	82	95	78	101	釧内	112	136	133	152	紋別	74	86	80
51	夕張	74	88	89	102	上礼内	81	98	109	153	広尾	96	107	90
			2山型					1山型						

認するため、実測とモデルによる現在評価結果(1980-1999年度の11-4月)を図-1などで示した14地点中、モデル計算値がない室蘭を除く13地点で比較した(図-4参照)。その結果、両者の変動はよく一致し、11-4月におけるゼロクロッシング日数の積算値の比も98～109%と10%以内を示した。このことから、地球温暖化予測情報第9巻データセットは、実測されたゼロクロッシング日数を良好に再現していると考えられる。

2) ゼロクロッシング日数の分布型

気象官署の他、アメダス地点を含む153地点の予測結果では、1980-1999年度の11-4月は、表-2および図-3に

示す153地点でゼロクロッシング日数の分布型は2山型であったのに際し、RCP2.6では渡島半島海岸部の7地点で、RCP8.5では内陸部の44地点を除く109地点で2山型から1山型(1月もしくは2月に最大のゼロクロッシング日数を記録する場合が多い)に変化することが分かった。図-5に示す前述の13地点における事例ではRCP8.5では全地点で、RCP2.6では函館は1山型に近いが2山型に分類され、江差、浦河などの海岸部では1山型を示した。現実的な将来予測は2021年に開催されたCOP26の結果から各国の削減目標が完全に実行されれば、世界の今世紀末までの気温上昇は平均で1.8度に抑えられるとの分析結果が国際エネルギー機

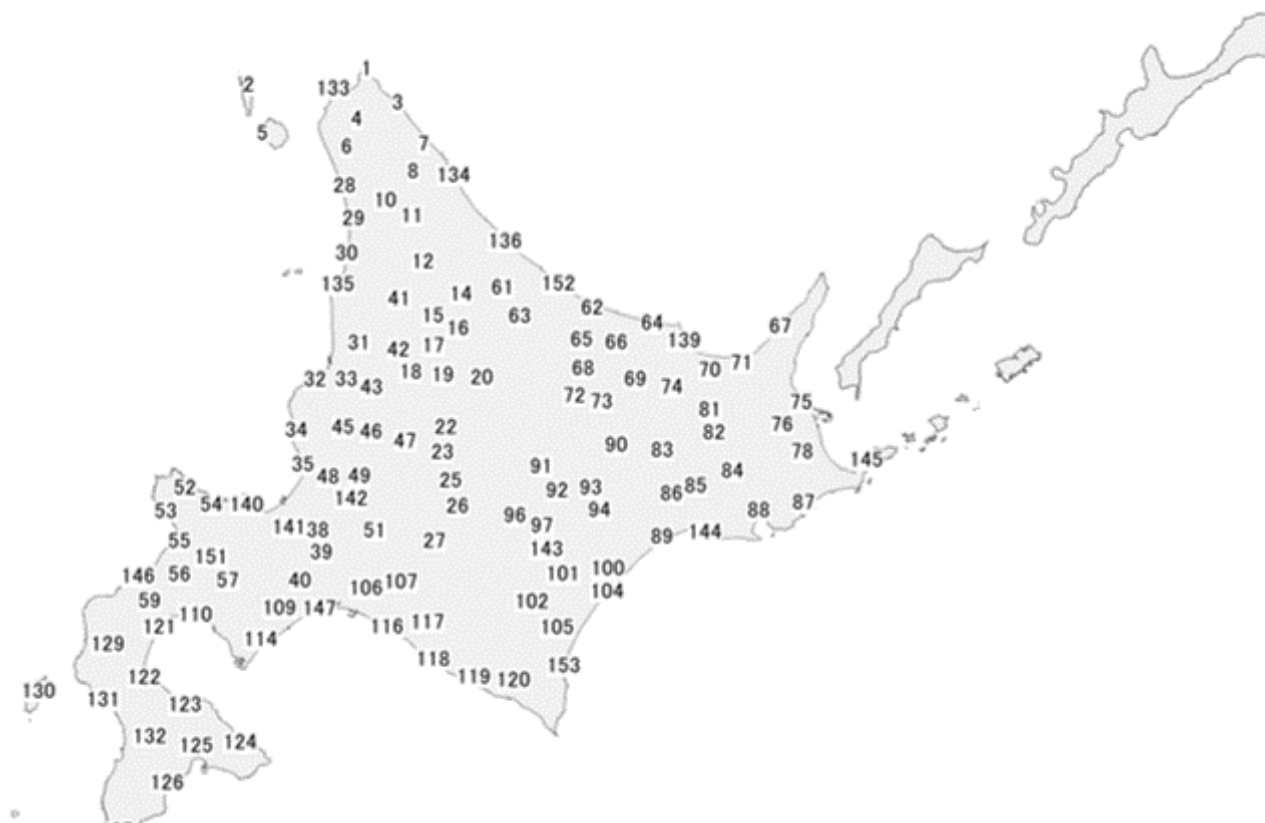


図3 地点番号とその位置図

関 (IEA) から発表されるなど⁷⁾, RCP2.6 と 8.5 の中間的な可能性が高いことから、道央から道南の海岸に近い地点で 1 山型になる可能性高いと考えられた。

3) ゼロクロッシング日数の変化

表-2に示すようにRCP2.6では全体のゼロクロッシング日数は増加している場合が多く見られた。これは、厳寒期間の気温が上昇し、現在は最高気温が0℃未満の真冬日がゼロクロッシング日となるためである。このことは前述したポットホールやつるつる路面の増加に繋がる。

一方、RCP2.6 でゼロクロッシング日数の分布が 1 山型となる地点を見ると、現在と比べて RCP2.6 ではいずれも減少を示し、これらの地点では RCP2.5 と比べて RCP8.5 でも大きくゼロクロッシング日数が減少している（表 -2 参照）。また他の道南などの地点でも同様の傾向を示す地点が多く見られた。

気温上昇が大きい場合には RCP8.5 シナリオの途中経過が RCP2.6 と同様になるという見方もできることから、1 山型になりやすいあるいは 1 山型になった地点は、氷点下が続く期間が減少し、路面の雪が解けている場合が多くなると考えられた。

3. ゼロクロッシング日数に関するトリガー指標と適応策の提案

気温上昇により、路面の雪が解けている場合が多くなった場合には、東北などにある消雪パイプによる融雪へ切り替えることで、道路管理の除雪・排雪に係るコスト、特に人件費を軽減できる可能性がある。実際に消雪パイプ等が用いられている山形などでは図-6に示すように既に現在もゼロクロッシング日数は1山型を示している。

これらのことから、道南などの地点では、ゼロクロッシング日数の分布が1山型となることをトリガー指標として、消雪パイプなどインフラ整備を進めることが適応策として提案できるものと考えられた。ただし、近年はセンサーを装備し、降雪時のみに水を流すなどの節水を考えた設備も見られるが、これらインフラ整備においては、用いる地下水の賦存量評価や使い過ぎによる地盤沈下のリスク評価が不可欠であり、適地選定においては注意が必要である。

おわりに

気候変動の影響として北海道の冬の変化が既に現れてきていることは既に報告したが¹⁾、今回はつるつる路面による転倒事故の増加や、自治体における道路の点検や補修費用負担

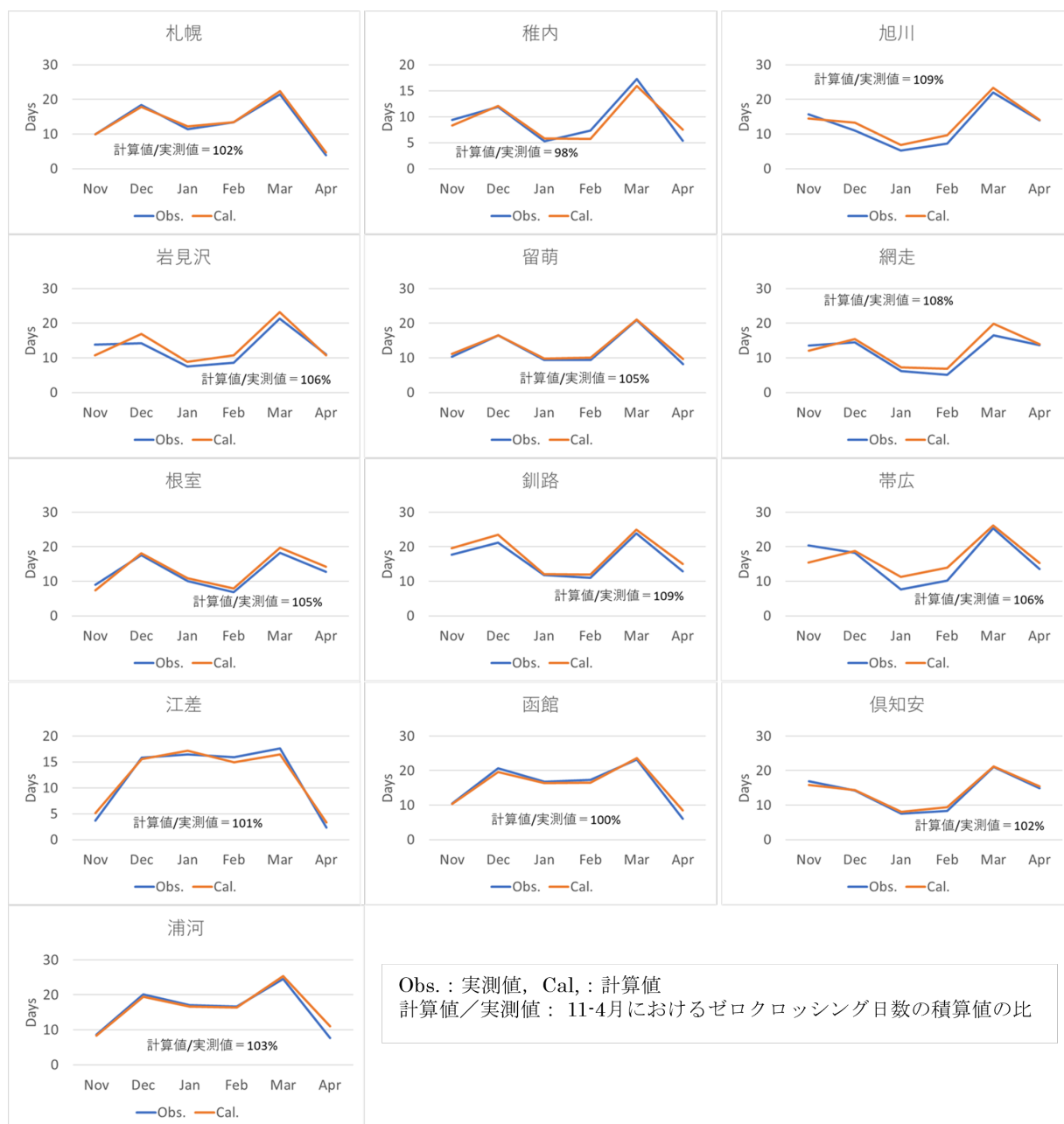


図4 1980-1999年度の11-4月におけるゼロクロッシング日数の平均の実測値および計算値

増となるポットホール増加を引き起こすゼロクロッシング日数の増加について予測も含めて解析した。その結果、ゼロクロッシング日数の分布が、2山型から1山型に変わるのをトリガーとして、除雪・排雪する方法から東北などで見られる消雪パイプ等を用いた融雪の方法などへの切り替えが提案できることが考えられた。

謝辞

本研究は環境研究総合推進費(JPMEERF20202009)により実施した。また気象解析データの整備においては気象協

引用文献

- 1) 野口泉, 濱原和広, 鈴木啓明, 山口高志, 長谷川祥樹, 芥川智子, 小野理 (2021) 北海道における気候変動に関する研究 - 降雪・



図5 RCP2.6 および 8.5 シナリオによる 21 世紀末（2076 ～ 2095 年度の 11 ～ 4 月におけるゼロクロッシング日数の平均の計算値

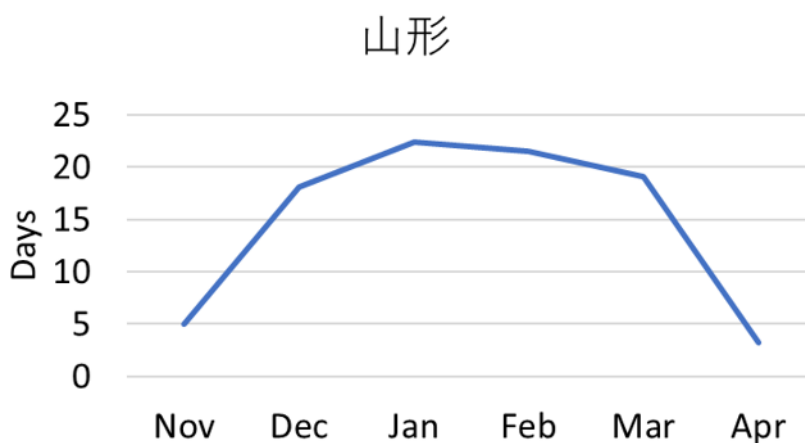


図6 山形における 1980-1999 年度の 11-4 月におけるゼロクロッシング日数の平均の観測値

- 積雪の変化傾向 - 第 37 回寒地技術シンポジウム, 81-84.
- 2) 松下拓樹, 西尾文彦 (2006) 着雪を生じる降水の気候学的特徴. 雪氷, 68, 421-432.
- 3) 木村孝司, 丸山記美雄, 安倍隆二 (2015) 融雪水が道路構造に与える影響及び対策に関する研究. 平成 27 年度 土木研究所 プロジェクト研究報告書「寒冷な自然環境下における構造物の機能維持のための技術開発」14.5 章, 1-28.
- 4) 気象庁 (2017) 地球温暖化予測情報 第 9 巻データセット.
- 5) 品田秀利, 奥原裕幸, 吉田寿憲, 与那覇政史 (2004) 札幌市における転倒事故に関する調査. 寒地技術論文・報告集 20, 113-117.
- 6) 濱原和広, 野口泉, 鈴木啓明, 山口高志, 長谷川祥樹, 芥川智子, 小野理 (2021) 積雪寒冷地における気候変動研究 - 降雪・積雪の変化とその影響 -, 第 48 回環境保全・公害防止研究発表会 講演要旨集, 64-65.
- 7) International Energy Agency (2021) COP26 climate pledges could help limit global warming to 1.8 °C, but implementing them will be the key. <https://www.iea.org/commentaries/cop26-climate-pledges-could-help-limit-global-warming-to-1-8-c-but-implementing-them-will-be-the-key>

要 旨

気候変動の影響を検討するにあたり, 1-2 月の北海道内の 14 気象官署における 60 年間の気象要素について 5 か年の移動平均値を用いて長期変化傾向を解析した結果, 気温とともにゼロクロッシング日数において増加傾向が認められた. ゼロクロッシング日数の現在の分布型は, 初冬と初春に日数が多い 2 山型であるが, 将来は真冬にのみ多い 1 山型への変化が予測された. この 1 山型への変化をトリガーとして, 地下水の利用が可能な地域では除雪・排雪から消雪パイプによる融雪への移行を進めることが適応策として考えられた.