

# 北海道におけるダイヤモンドダストの発生頻度とその将来予測

## Frequency of Diamond Dust and its future prediction in Hokkaido

長谷川 祥樹<sup>1</sup>, 山口 高志<sup>1</sup>, 濱原 和広<sup>1</sup>, 鈴木 啓明<sup>1</sup>, 野口 泉<sup>1</sup>

Yoshiki Hasegawa<sup>1</sup>, Takashi Yamaguchi<sup>1</sup>, Kazuhiro Hamahara<sup>1</sup>, Hiroaki Suzuki<sup>1</sup>, Izumi Noguchi<sup>1</sup>

Corresponding author: hasegawa-yoshiki@hro.or.jp (Y. Hasegawa)

冬季の自然現象の一つであるダイヤモンドダストについて、気象要素データを基に道内各地の発生ポテンシャルを見積もったうえで、発生状況調査によりモデル地域における発生頻度を把握した。発生日の気象条件および将来気候予測データを用いて 21 世紀末までの発生頻度の変化を予測した。SSP5-8.5 シナリオの場合には、21 世紀末には発生頻度が現在の約 3 分の 1 に減少すると予測され、気候変動の影響が顕著に表れた。

### 1. はじめに

近年「ジュエリーアイス」や「フロストフラワー」を始めとする雪氷に関連する自然現象が旅行関連のメディアで特集されるなど、観光資源として注目されている。

これらの自然現象の発生には、一定の気象条件（特に低温であること）を満たす必要があるが故に、気候変動の影響によって、その発生頻度は減少する可能性がある。観光資源として持続的な活用を図る上では、これらの自然現象の中長期的な変化についても留意する必要がある。

本研究では、自然現象の一つである「ダイヤモンドダスト」を対象に、発生頻度を把握し、その将来予測を行うことで、気候変動が自然現象に及ぼし得る影響を明らかにすることを目的とする。

ダイヤモンドダストは「細氷」とも呼ばれ、冬季の大気中に浮遊する氷晶が、太陽光を反射・屈折してキラキラと光る現象<sup>2)</sup>であり、北海道内陸部などで放射冷却により急激に温度が下がったときなどに観察される<sup>3)</sup>比較的身近な自然現象である。

### 2. 方法

#### 2. 1 発生ポテンシャルの見積

ダイヤモンドダストは、厳冬期の快晴かつ無風など限られた条件の時に発生するとされているが<sup>4)</sup>、自然環境下での発生条件を明確に示した事例は見当たらない。そこで、各気象要素が満たすべき条件を暫定的に設定し、アメダスによって観測された気象要素データから地域毎の発生しやすさを表現することを試みた。表 1 に設定した気象条件を示す。すべての条件を満たす日を発生可能性がある日とし、その年間累計値を発生ポテンシャルと定義した。

<sup>1</sup>北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所

北海道内のアメダス設置地点から 50 地点を抽出し、7-9 時の 1 時間値を対象に解析を行った。解析は当年 12 月 1 日から翌年 3 月 31 日までの 4 か月間を対象とし、2011~2020 年までの値を平均して、各地点の発生ポテンシャルを算出した。また、風速については各地点の風速計高さに違いがあるため、三浦ら<sup>5)</sup>の方法により高さ 10 m の風速に換算したものを解析に用いた。なお、今回は、一日のうちダイヤモンドダストが少しでも見られる可能性がある日を幅広くカウントすることを念頭に置き、発生条件を設定しているため、ポテンシャルの精度自体を問うことはできないことに留意する必要がある。

表 1 ダイヤモンドダストの発生条件

気象要素データ	設定した条件
気温	平均-10℃以下
風速	平均 1.5m s <sup>-1</sup> 以下
日照時間	累積 0.2h 以上
降雪	累積 1cm 以下

#### 2. 2 発生状況調査

道東内陸部の弟子屈町川湯において、ダイヤモンドダストの発生頻度を把握するため発生状況調査を実施した。2021 年 12 月 3 日から 2022 年 3 月 6 日まで地区内 2 か所に定点カメラ (GoPro HERO9) を設置し、インターバル 30 秒で連続的に観測を実施した。図 1 に定点カメラと設置地点の外観を示す。カメラは朝方に太陽光を逆光で捉えられるよう東~南東方向に向けて設置した。また、定点カメラ近傍に温湿度ロガー (ONSET 社 HOBO MX2301A) を設置し、10 分間隔で温湿度を記録した。さらに、現地在住の協力者 1 名に毎朝ダイヤモンドダスト

Research Institute of Energy, Environment and Geology,  
Hokkaido Research Organization



この放射冷却現象<sup>10)</sup>によって低温になったことを反映していると推察された。このことから、気温はダイヤモンドダスト発生に必要な気象条件を合わせた代表的な要素であると考えられた。

次に、温湿度ロガーによる記録とダイヤモンドダストの発生有無について検証する。図4に7-9時の平均気温と平均相対湿度に対するダイヤモンドダスト発生の関係を示す。発生有無が混在した気温-12℃以下-16℃超の範囲では、同程度の気温であればより相対湿度が高い日の方が発生しやすい傾向が確認された。今後、気温のみならず湿度にも着目してさらなる検証を重ねることで、発生条件をより高精度化できる可能性が示唆された。

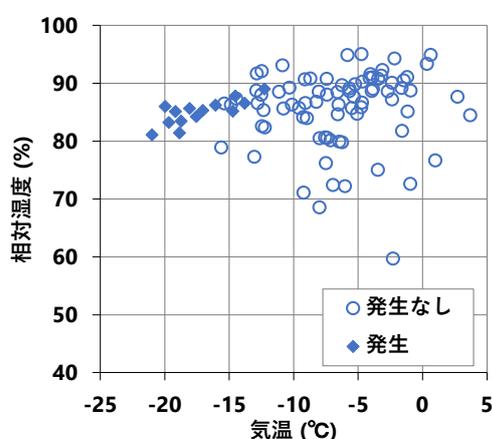


図4 7-9時の平均気温と平均相対湿度に対するダイヤモンドダスト発生の関係

### 3.3 発生頻度の将来予測

#### 3.3.1 発生頻度の計算について

ダイヤモンドダストの発生に寄与する代表的な気象要素である気温の情報を用いて将来予測を行った。今回使用した将来気候予測データでは、日平均気温、日最高気温、日最低気温について2015年1月1日から2100年12月31日までの1日単位で予測値がある。そのうち、朝の気温と関係が強いと考えられる日最低気温の予測値を使用した。

年間の発生頻度は式1を用いて計算した。また、各変数および定数の意味と算出方法を以下に示す。

$$F_p = D \times K_1 \times K_2 \cdots (1)$$

$F_p$ : 発生頻度 (日)

$D$ : 日最低気温が閾値以下となる日数 (日)

発生状況調査において、ダイヤモンドダストが発生した日は、すべて0-9時の最低気温が-17℃以下だったため、-17℃を閾値とした。

$K_1$ : 日最低気温による0-9時の最低気温の再現率

日最低気温の日界は0時であるため、必ずしも日最低気温が0-9時の最低気温を再現できないことがある(例えば夜遅い時間から翌日にかけて気温が低下する場合など)。ここでは、川湯アメダスについて、年間の日最低気温が-17℃以下の日数に対する0-9時の最低気温が-17℃以下の日数の割合を2011年から2020年まで求め、その平均値0.76(最低0.67~最高0.82)を再現率として採用した。中島は、札幌において0時日界の場合、最低気温の「谷」の非捕捉率が30%近くあることを示しており<sup>11)</sup>、今回の値は概ね妥当であると考えられた。

$K_2$ : 0-9時の最低気温によるダイヤモンドダスト発生的中率

この発生的中率とは気温以外の湿度や天候など諸条件がダイヤモンドダスト発生に適した状況となり、実際にダイヤモンドダストが発生する確率である。今回の発生状況調査において、0-9時の最低気温が-17℃以下の日数(24日)のうち58%にあたる14日でダイヤモンドダストが発生したことを踏まえ0.58を発生的中率として採用した。

#### 3.3.2 将来予測結果

図5、図6にSSP5-8.5シナリオおよびSSP1-2.6シナリオによる発生頻度の将来予測結果を示す。SSP5-8.5の場合、有意な減少傾向(t検定,  $P < 0.01$ )が見られた。発生頻度は、現在(2016~2025年の平均)の14.3日に対して将来(2076~2095年の平均)は5.1日と約3分の1に減少すると予測された。一方で、SSP1-2.6の場合、有意な減少傾向は見られなかった。このように、シナリオによっては気候変動の影響が顕著に表れた。すなわち、希少性の高い自然現象が将来に渡って見られるかどうかは、気候変動への今後の対策次第とすることができる。

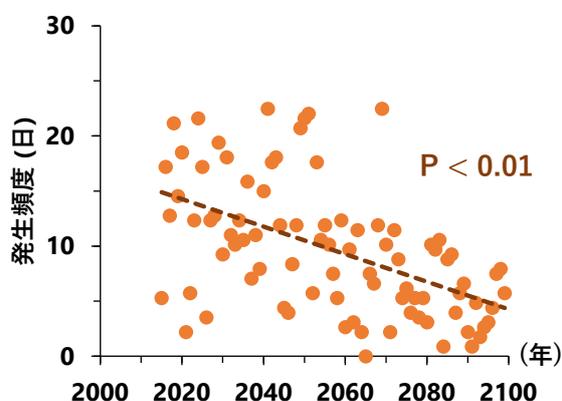


図5 ダイヤモンドダストの発生頻度の将来予測(SSP5-8.5シナリオ)

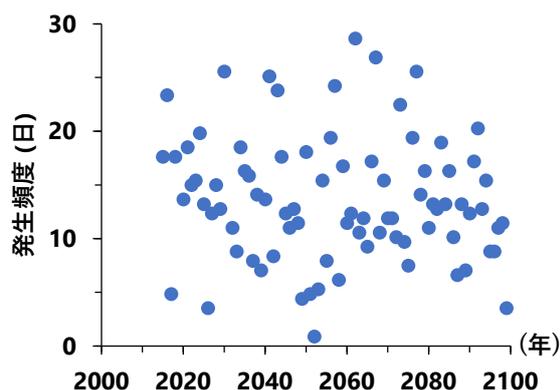


図6 ダイヤモンドダストの発生頻度の将来予測 (SSP1-2.6 シナリオ)

福山は、冬季の自然現象を含めた雪氷観光の創造によって雪氷の価値を向上させることが、人間がその雪氷を「護ろう」とする意識を芽生えさせ、その延長線上に地球温暖化に対する緩和策の意識が浸透していく可能性を指摘している<sup>12)</sup>。本研究の結果は、北海道内陸部では比較的身近な自然現象であるダイヤモンドダストの現在における価値を再認識させ、気候変動緩和策の推進に向けた意識の醸成につながる可能性を有している。

#### 4. おわりに

本研究では、ダイヤモンドダストを対象に、発生頻度を把握したうえで、その将来予測を行った。本研究により得られた主な結果を以下に示す。

- ・ 気象要素データから道内各地の発生ポテンシャルを見積もり、地域毎のダイヤモンドダストの発生しやすさを視覚的に捉えた。
- ・ モデル地域である弟子屈町川湯において、ダイヤモンドダストの発生が年間14日確認された。
- ・ 将来気候予測データを用いて発生頻度の変化を予測した。SSP5-8.5シナリオの場合は、21世紀末には発生頻度が現在の約3分の1に減少すると推定された。

本研究では、一つのモデル地域における発生頻度や発生条件についての結果を得ることができた。これらを高精度化・一般化するためには、今後、複数年の調査や別の地域での調査等が必要である。そのことにより発生頻度の推定や将来予測について、北海道のより広い範囲を対象にすることが可能になると考えられる。地域の資源である自然現象が気候変動によってどう変わるのかを可視化することは、気候変動の緩和や適応に向けた動機の一つになり得ると考えている。

#### 【謝辞】

本研究の推進にあたり、北海道環境生活部気候変動対策課、環境省阿寒摩周国立公園管理事務所、弟子屈町観光商工課、川湯エコミュージアムセンター（現 川湯ビジターセンター）および菓子司風月堂の皆様にご協力いただきました。記して感謝の意を表します。

#### 【参考文献】

- 1) 例えば、全日本空輸株式会社ウェブサイト、「北海道の厳冬が生み出す奇跡の絶景」。URL: <https://www.ana.co.jp/travelandlife/article/002096/> (2022年4月28日閲覧)
- 2) 亀田貴雄・高橋修平, 2017: 雪氷学, 東京, 古今書院, 71pp.
- 3) 公益社団法人日本雪氷学会編, 2014: 新版雪氷辞典, 東京, 古今書院, 115pp.
- 4) 政府広報オンライン英語版サイト, HIGHLIGHTING Japan2022年1月号. URL: [https://www.gov-online.go.jp/eng/publicity/book/hlj/html/202201/202201\\_08\\_jp.html](https://www.gov-online.go.jp/eng/publicity/book/hlj/html/202201/202201_08_jp.html) (2022年6月23日閲覧)
- 5) 三浦健志・奥野林太郎, 1993: ペンマン式の計算を容易にするための工夫と提案, 農業土木学会論文集, **164**, 165-170.
- 6) 石崎紀子, 2021: CMIP6をベースにしたCDFDM手法による日本域バイアス補正気候シナリオデータ, Ver.1, 国立環境研究所, doi:10.17595/20210501.001. (参照: 2021/12/1)
- 7) 例えば、名寄市HP. URL: <http://www.city.nayoro.lg.jp/mobile/visit/index.html> (2022年6月24日閲覧)
- 8) 例えば、旭川市HP. URL: <http://www.city.nayoro.lg.jp/mobile/visit/index.html> (2022年6月24日閲覧)
- 9) 例えば、陸別町HP. URL: <https://www.rikubetsu.jp/iju/shiru/> (2022年6月24日閲覧)
- 10) 近藤純正・山沢弘実, 1983: 夜間の地表面放射冷却と積雪および日本各地の最低気温の極値について, 天気, **30** (6), 21-27.
- 11) 中島尚, 1999: 札幌における日最高(最低)気温の日界について, 天気, **46** (5), 39-41.
- 12) 福山貴史, 2021: 「雪氷観光」に関する基礎研究, 雪氷, **83** (5), 489-505.