湿度に着目したダイヤモンドダストの発生条件の評価

楊涵雅　新津文望

要旨

本研究は、ダイヤモンドダストの発生条件について、従来重視されてきた気温に加え湿度の影響を明らかにすることを目的とした。気温−10℃において湿度を変化させた実験を行った結果、湿度 70％以上ではダイヤモンドダスト発生確率 100％、湿度 60 から 69％では発生確率 73％、湿度 40 から 59％では発生確率 14％となり、湿度が高いほど発生確率が増加することが示された。理論上、氷に対する飽和条件は湿度約 91％と算出されたが、実験では約 60％付近から発生確率が上昇した。これは大気中の塵や局所的過飽和など実際の不均質な環境要因の影響によるものと考えた。以上より、気温−10℃では湿度がダイヤモンドダストの発生を左右する要因であることが示唆された。

キーワード：ダイヤモンドダスト(細氷)、湿度、発生確率、氷に対する飽和水蒸気圧、臨界湿度帯

Ⅰ. はじめに

ダイヤモンドダストは「細氷（さいひょう)」とも呼ばれ、冬季の大気中において空気中の水蒸気が急激に凝結・凝固することで生成された微細な氷晶が浮遊し、それらの氷晶が太陽光を反射・屈折および散乱することによって輝いて見える大気光学現象である。特に、放射冷却により気温が急激に低下した際に発生しやすく、北海道内陸部などの寒冷地域では比較的高頻度に観察されるため、同地域の居住者にとっては身近な自然現象である。一方、本州以南や海外の比較的温暖な地域においては観測頻度が低く希少性が高いため、近年では観光資源の一つとしても注目されている。長谷川ら（2023)によると、気温が−15℃以下になると、ダイヤモンドダストの発生確率が 84％、−15℃から−10℃の日においては、湿度が 90％以上の場合にダイヤモンドダストが発生したが、気温の条件だけで考えると発生確率は 17％になったと報告している。さらに、これまでの観測結果、過去の統計データが十分でないこと、天気予報においても通常、湿度は公表されないなど、現時点では気温に比べて汎用性に欠けるため湿度に関する明確な発生条件を設定するのを見送ったと報告している。

そこで本研究では、気温だけでなく湿度の影響にも着目してダイヤモンドダストの発生条件を明らかにすることを目的とする。

Ⅱ. 手法

ダイヤモンドダストを発生させるための実験装置は平松和彦(2009)をもとに作製した。発泡スチロール箱(19×24×20 ㎝）の蓋に空き缶をはめ込むため直径 6cm の穴を開け、飲料水の使用済み缶（空き缶）をはめて固定した。ドライアイスを発泡スチロール箱の内側に入れ−10℃に冷却したのち、空き缶の中でエアキャップを潰して衝撃を与えた。穴のふちからマグライトを照射しダイヤモンドダストが観測できるか調べた。変数である湿度の調整は以下の方法で行った。閉鎖空間を作ることが可能な、できるだけ狭い部屋（本実験では風呂場を使用した）において、加湿器を用いて室内の湿度そのものを変化させることで、実験装置内の湿度調整を行った。実験は各湿度 2 回、その 2 回で結果が変わった場合は 4 回行った。





図 1 実験装置(左図)、実験の様子(右図)

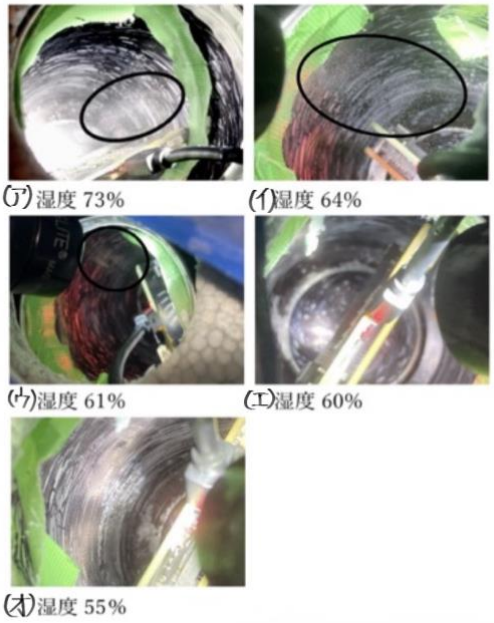
III. 結果

実験の結果を表 1 に示す。ただし、◯は発生有り、△は微量に発生有り、×は発生無しを表す。湿度が 81%、73%、64%のときなどにはダイヤモンドダストが発生し、湿度が 55%、42%のときなどにはダイヤモンドダストの発生は確認されなかった。

図 2 はダイヤモンドダストが確認されたときの様子である。湿度 81%、73%のときは、実験装置内に多くのダイヤモンドダストが発生した(図 2 (ア))。湿度 64%、61%のときには、湿度が 81%、73%のときと比べると、微細な氷晶が、20 粒ほど浮遊している状態で発生が確認された(図 2 (ア)(イ))。

湿度とダイヤモンドダスト発生有無の関係を評価した。結果から、−10℃の条件下で、湿度 65%から 100%の範囲においてダイヤモンドダスト発生確率は 100%、湿度 60%から 64%の範囲においてダイヤモンドダスト発生確率は 56%、湿度 40%から 59%の範囲において、発生確率は、0%となった。

図 2　湿度ごとの撮影画像



（ダイヤモンドダストが特によく視認できた所を丸枠で囲んである。）

表 1　気温－10℃における湿度を変数としたダイヤモンドダスト発生の有無の調査

湿度(%)	92		81		77		76		73		69		67		65	
	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目
発生の有無	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△	△

湿度(%)	64		63				62				61				60	
	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目
発生の有無	△	△	△	×	△	△	△	×	×	△	△	×	△	×	×	△

湿度(%)	60		59		58		57		55		54		42			
	3 回目	4 回目	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目		
発生の有無	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		

IV. 考察

まず、湿度の上昇に伴いダイヤモンドダストの発生確率が増加する理由について考察した。気温−10℃の環境下において湿度が上昇すると、空気中の水蒸気分子数が増加する。その結果、水蒸気分子間の平均距離が短くなり、分子同士の衝突頻度が増加するため、分子の集合が起こりやすくなる。また、空気中に存在する微小な塵やエアロゾル粒子などの昇華核に対して、水蒸気分子が衝突・付着する確率も増加する。水蒸気分子数が多いほど、細氷形成核への付着頻度は高まり、細氷の発生数および成長速度は増大すると考えられる。以上より、湿度が高いほど細氷形成の確率お

よび成長速度が増加し、その結果としてダイヤモンドダストの発生頻度が高まると推察される。

次に、本実験の結果では、湿度 60%から 69%の範囲においてダイヤモンドダスト発生確率が 73%に達した。この湿度範囲にダイヤモンドダストの発生条件がある理由について考察した。

ダイヤモンドダスト(細氷)が発生する条件は、空気中の水蒸気圧が氷に対する飽和水蒸気圧以上になることであると考えられる。気象庁(1998)より気温−10℃において、水に対する飽和水蒸気圧(w)は、2.86hPa、氷に対する飽和水蒸気圧(i)は、2.60hPa である。

湿度（RH）は次式で定義される。ここで、k は実際の水蒸気圧、w は、水に対する飽和蒸気圧とする。

$$RH = k \div w$$

氷に対してちょうど飽和となる条件は、実際の水蒸気圧と氷に対する飽和水蒸気圧が等しくなるときである。

ここで、i は氷に対する飽和水蒸気圧とする。このとき、氷に対して飽和となる理論的臨界湿度 RH は、

$$RH = i \div w$$

となる。

数値を代入すると、

$$RH = 2.60 \div 2.86 = 0.91$$

すなわち、湿度約 91%で氷に対する完全飽和となる。理論上は、気温−10℃においてダイヤモンドダスト発生確率が急激に増加する湿度である臨界湿度は約 91%と推定される。

一方、実験では湿度約 60%付近から発生確率が 73%に急増した。理論値と実験値の湿度の差は、

$$91 - 60 = 31\%$$

であり、相対誤差は

$$|60 - 91| \div 91 \times 100 = 34.1\%$$

約 34%となる。この値は相対誤差としては大きい。

理論計算では、空気が均一かつ静止した理想的平衡状態を仮定している。しかし、実際の大気中には、水蒸気の局所的な揺らぎが存在し、さらに細氷形成の核となる微粒子や塵が分布している。このような不均質核生成の影響により、理論上の完全飽和条件である 91%に達していなくも、局所的には氷に対する過飽和状態が生じ、細氷が発生する可能性がある。したがって、湿度 60%から 69%の範囲は理論的な完全飽和条件には達していないものの、実際の大気条件下では細氷の発生確率が増加し始める実質的な臨界湿度帯であると考えられる。

V. 結論

長谷川ほか(2023)によれば、気温−10℃の条件下でのダイヤモンドダスト発生確率は 17%と報告している。本実験では湿度条件に着目し、気温−10℃において湿度 92%から 42%の範囲で条件分けを行った。その結果、湿度 65%から 92%の範囲では発生確率が 100%の達し、湿度 60%から 64%の範囲では発生確率が 56%となった。 本研究では、気温−10℃におけるダイヤモンドダストの発生の条件は、湿度に条件によって分類可能であること示唆された。

ただし、本研究では実験装置内で人工的に発生したダイヤモンドダストを対象としており、自然環境下で発生する現象とは温度や湿度場、乱流構造、エアロゾル分布などの条件が異なる。そのため、本実験ので得られた発生確率や臨界湿度対が、自然大気中のダイヤモンドダスト発生にそのまま適用できるとは限らない。

今後は、自然環境下で観測されるダイヤモンドダストを対象として湿度条件との関係を評価し、本研究ではで示唆された実効的臨界湿度帯の妥当性を検証する必要がある。

謝辞

本研究の推進にあたり、野原大輝先生、市川高等学校 SSH 担当教員の皆様、野原先生ご指導の生徒の皆様、ならびに筆者の家族の皆様に多大なるご協力を賜りました。深く感謝申し上げます。

文　献

気象庁（1998）:気象観測の手引き.
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/kansoku

_guide/tebiki.pdf?utm_source=chatgpt.com [2026/02/19].

平松和彦 (2009)：ダイヤモンドダストを観察しよう．北海道支部 50 周年記念誌、242.

長谷川祥樹・山口高志・濱原和広・鈴木啓明・野口泉 (2022)：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．北海道の雪氷、41、67－70.

長谷川祥樹・山口高志・濱原和広・鈴木啓明・野口泉・牛島健 (2023)：ダイヤモンドダスト発生日の気象条件の特徴－2022‐2023 年冬の旭川市における観測から－. 北海道の雪氷、42、69－72.

長谷川祥樹・野口泉・山口高志・鈴木啓明
・大屋裕太・牛島健 (2024)：希少な自然現象（ダイヤモンドダスト）の発生条件の一般化に関する検討. 寒地技術論文・報告集、40、49－52.