

「クラウンフラッシュ」私見

木村 龍 治*

1. はじめに

発達する雄大積雲の雲頂に、光の柱が現れることがある。第1図は、2023年8月2日、東京都東大和市多摩湖堤防で撮影された事例である^[註1]。

気象光学現象に違いないが、筆者の知る限り、この現象に関する日本語の学術的文献はない。この現象に対する学術用語もない。筆者は、若い頃から気象に興味をもっているが、この現象の存在を知ったのは、80歳を過ぎてからである。

しかし、インターネットでは、この現象は、「クラウンフラッシュ (crown flash)」と呼ばれている。「クラウンフラッシュ」を検索すると、同様の現象が世界中で目撃されていることを知る。第1図は、(筆者の知る限り) 公開された日本初の事例である。その意味で、学術的価値が高い。なお、2023年8月1日、三重県いなべ郡東員町で、同様の現象が現れた。その動画が、YouTube にアップロードされている^[註2]。

さて、気象学は、この現象を、どのように説明するのであろうか。それが、本稿のテーマである。

2. ウィキペディアによる説明

ウィキペディアで「クラウンフラッシュ」を検索すれば、以下のような内容の説明がある^[註3]。因みに、日本語版の説明は、英語版の説明と同じである。

①現象の記述：積乱雲などの雲の真上に現れるサーチライトや懐中電灯が発するような「場合によっては湾曲した）光の柱」に似た光芒。時に、非常に速いスピードで「踊っている」ように見える。落雷やオーロラなどで見られるような自己生成光では無く、太陽光の反射または屈折によって発生する。幻日と同



第1図 2023年8月2日、東京都東大和市多摩湖堤防で撮影された「クラウンフラッシュ」^[註1]。

様、効果の観察は観察者の位置に依存する。ただし、幻日とは異なり、真上に発生しているように見える。

②成因：雷によって雲の中の電気が帯電または放電され電界が乱されると、氷の結晶が再配向し、光のパターンが特徴的な動きをする。

ウィキペディアによると、最初にクラウンフラッシュが記載されたのは、1885年の米国気象学会誌 Monthly Weather Review (MWR) である (Monthly Weather Review 1885)。この時代の MWR は、気象の項目ごとに、その月に発生した事例の記述がある。「大気電気」の項目に記述された現象が、クラウンフラッシュに対応していると思われる。

ウィキペディアに書かれているクラウンフラッシュのメカニズムの説明は、Vonnegut (1965) による。彼は、ラングミュアと共に世界で最初の人工降雨実験を行った研究者である。ヨウ化銀が非常によい氷晶核になることを発見したことで知られる。彼は、当時、雷雲内部の強い電場に対する氷晶の挙動に興味をもって、コールドボックス (= 氷晶を発生させた箱) 内に、強い電場をかけ、氷晶の挙動を調べる実験を行っていた。

想像するに、Vonnegut は、この現象の目撃談 (Gall and Graves 1971) を見て、クラウンフラッシュの挙動

* 元放送大学。

© 2024 日本気象学会

が、彼の実験装置内の氷晶の挙動と似ていることに気がついた。彼は、同じ年に、Gall and Graves と共著の論文を発表している (Graves *et al.* 1971)。そこに書かれていることが、ウィキペディアの説明に他ならない。

Vonnegut 説は、それ以後、現在に至るまで、訂正されていない。なぜなら、現象がきわめてまれに発生するので、訂正するに足る十分な事例を集めることができなかつたからである。

その事情は、インターネットの発達で一変した。現在は、多くの事例を YouTube で見ることができる。多くの事例を眺めることによって、Vonnegut 説とは別のメカニズムが見えてくる。

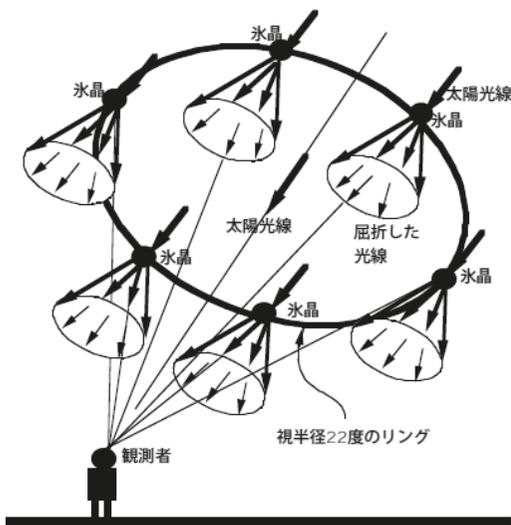
3. クラウンフラッシュの動態

多くのクラウンフラッシュの動画をインターネットで観察すると、以下のような共通性がみられる。

- ①発達する雄大積雲の雲頂、または、雲頂の近くで発生する。
- ②光の柱は、短時間のうちに、かなり激しく変化する。位置がずれたり、横に傾いたり、振動したりする。
- ③記録された画像のすべては、雄大積雲に太陽光線の当たる面の裏側から撮影されている。すなわち、逆光で撮影されている。

4. 「クラウンフラッシュ」とは何か

逆光の環境下で、上空の一部から、周辺に比べて、明るい光線が眼に照射される。太陽光線以外の光源は



第2図 22度ハロの説明図。

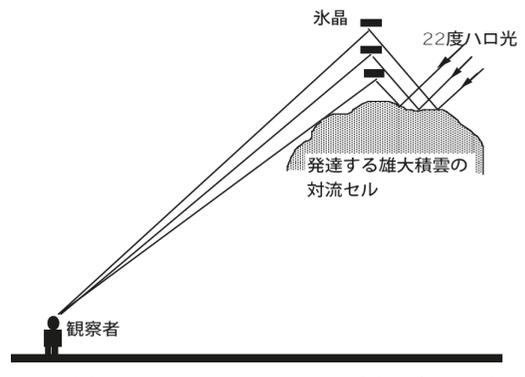
ないので、光源は太陽光線に違いない。太陽の位置は、雲頂からずれているので、眼に入るのは、直達日射ではない。太陽光線であっても、太陽の方向とは異なる方向から来る太陽光線とは何か。

昼間の大気圏には、散乱によって、あらゆる方向の太陽光線が存在する。それが、背景の明るさを生む。クラウンフラッシュは、背景光よりも明るいので、単純な日射の散乱光ではない。

背景光よりも明るく、太陽と異なる方向の光線は、大気中に浮遊する六角柱の氷晶で作られることが知られている。

空中に、微小な六角柱の氷晶が浮かんでいるとする。六角柱の氷晶は、太陽光線に対して60度プリズムと同じ効果を与える。すなわち、入射光に対して22度屈折した光線が射出される。氷晶はランダムな姿勢で空中に浮かんでいるので、統計的に、頂角22度の円錐の方向に光線が射出される(第2図)。屈折光のうち、観測者の眼に入るのは、観測者から視線方向に22度の頂角をもつ円錐から来る方向である。この円錐以外の場所にある屈折光は、眼に入らないから見えない。そのため、太陽を中心とする視半径22度のリングが光って見える。それが、「22度ハロ」と呼ばれる現象である。この光線を、「22度ハロ光」と呼ぶことにしよう。

もしも、六角柱の氷晶の浮かんでいる大気層(=対流圏中上層)まで、雄大積雲が発達したとしよう。雲頂に「22度ハロ光」が照射される。この光線は雲頂で反射され、上向きの光線になる。その光線は観測者の眼に入ることはないが、雲頂の近くに、六角板の氷晶が底面を水平にして浮かんでいる場合は、氷晶に反射した「22度ハロ光」の方向が下向きに変わり、観測者の眼に入る。



第3図 クラウンフラッシュを構成する光線の経路。

柱のように見えるのは、平行光線が氷晶に反射して、縦に伸びたからである。同様の気象光学現象は、「太陽柱」として知られている。第3図に、クラウンフラッシュを構成する光線の経路の模式図を示す。

クラウンフラッシュは、英語では、「jumping (or leaping) sundog」とも呼ばれる。sundogとは、「幻日」のことである。「幻日」は、「22度ハロ光」による気象光学現象なので、適切な命名というべきだろう。

5. 22度ハロとクラウンフラッシュ

この説明のカギとなるのは、クラウンフラッシュの光源が、22度ハロ光と考える点である。その光線が、観測者から隠れた場所（＝積雲の反対側）のみにあれば、22度ハロ光であることは分からない。しかし、積雲から離れた場所に氷晶が浮かんでいれば、積雲とは関係なく、22度ハロが見えるはずである。そして、クラウンフラッシュは、22度ハロと重なっているはずである。

第4図は、クラウンフラッシュと22度ハロが同時に撮影された画像である。

少なくとも、この2例は、クラウンフラッシュの光源が22度ハロ光であることを示している。筆者がインターネットを検索した結果では、クラウンフラッシュが（22度ハロ光であるかどうか分からない事例は多いが）あきらかに22度ハロ光でない事例を見つけることはできなかった。

6. クラウンフラッシュの挙動

光の柱が、まるで、サーチライトをいろいろな方向に向けるように動く動作は、22度ハロ光が反射する面が、ドーム状の対流セルであることによる。発達中の対流セルは、発達しながら、秒速数メートルで上昇している。また、風の効果で、水平に移流されている。その結果、反射面の角度と、観察者の視線方向の関

係が、刻々変化する。

半球状の鏡に、縦方向のスリット光線を当てて、その反射光をスクリーンに投影してみよう。鏡とスリットの位置によって、スリット光線の反射光は、サーチライトのように、方向を変えて、スクリーンに投影されるであろう。クラウンフラッシュが激しく変化するのは、反射面の角度の変化によることを示唆する。

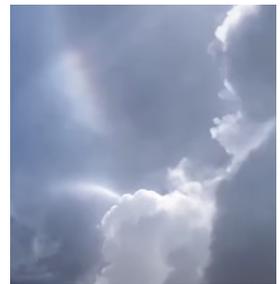
7. 議論

7.1 Vonnegut 説批判

Vonnegut 説では、光柱が激しく変化するのは、雲頂に浮かぶ氷晶の整列の状態が、電場の変化により変化するためと考える。この考えは、コールドボックス内の氷晶の挙動から着想を得たものである。しかし、この考えは、以下の2点に難がある。

①「雷雲の真上」でクラウンフラッシュが発生するという認識が間違っている。YouTubeの多くの事例を見る限り、「雷雲の真上」でクラウンフラッシュが発生した事例はない。雷雲になる直前の雄大積雲の真

(a)



(b)



第4図 22度ハロとクラウンフラッシュが同時に撮影された事例。(a)テキサスの事例^[注4]。(b)台湾の事例^[注5]。

上に発生する現象なのである。この段階では、電荷分離は起こらず、電場は存在しない。それにもかかわらず、クラウンフラッシュは発生する。

- ②コールドボックス内は、きわめて静的な状態にある。Vonnegut は、静的な状態の空気に浮かぶ氷晶の実験を行った。しかし、垂直に発達している雄大積雲の雲頂は、秒速数メートルで上昇している。空気が入れ替わっても、光の柱は、途切れることなく連続的に存在する。実験室内の状態と、実際の雲頂の状態は、かなり異なっていると考えるべきだろう。

7.2 雲頂の役割

垂直上向きに発達する雄大積雲の雲頂は、激しい乱流混合によって発生する半球状の対流セルの集合である。雄大積雲は、外部の静的な空気をエントレインメント（連行）によって内部に吸い込みながら、体積を膨張させ、上向きに発達する。

クラウンフラッシュは、常に、雲頂に接して発生するから、クラウンフラッシュの成因に、雲頂が関係していることは、疑問の余地がない。逆にいえば、雲頂と関係ない場所に、クラウンフラッシュが発生した事例はない。

もう一つの特徴は、すべての場合、クラウンフラッシュが目撃されたのは、観察者が、雄大積雲の影側にいる場合である。明るい雄大積雲の上にクラウンフラッシュが発生した事例はない。

この特徴は、何を意味するのか、クラウンフラッシュが、雲頂で反射した光線と関係していることを意味する。すなわち、雲頂の役割は、日射の反射体としての役割であることを示唆する。

7.3 氷晶の役割

しかし、雲頂で反射した日射は、上向きの光線であるから、観察者の眼に入ることはない。観察者の眼に入る光線は、下向きの光線である。

上向きの光線が、地上にいる観察者の眼に入る気象光学現象がある。「漁火光柱」という（矢田ほか（2010）参照）。この現象では、上向きに放射されたイカ釣り漁船の照明が上空に浮かぶ氷晶に反射して、下向きの光線になり、観察者の眼に入るものである。恐らく、底面を水平に保って落下する六角板の結晶の底面に光が反射したものと考えられる。光線は、縦方向に伸びて、光の柱のように見える。

同様の現象は、「太陽柱」として知られている。「太陽柱」の場合は、日射が直接氷晶に反射して、光の柱

のように見える。

クラウンフラッシュの場合は、発達する雄大積雲の直上に、底面を水平にした氷晶が存在して、上向きの反射光が、もう一度反射して、下向きの光線になると考えられる。

しかし、上昇する雄大積雲の雲頂の直上に、底面を水平にした氷晶が存在できるだろうか。その可能性を示唆する現象がある。雄大積雲の雲頂に接して発生する「ベール雲」である。ベール雲は、積雲に押し上げられた空気の内側で凝結が起ることで形成される。ベール雲は、水平方向になめらかな層状になる。それは、雲頂の直上の空気の乱流強度が、雲がない状態と同じであることを示している。それ故、その中の氷晶は、雲によって攪拌されることはない、と考えられる。

7.4 光源について

ウィキペディアに述べてある通り、クラウンフラッシュは発光現象ではない。すなわち、夜間に、クラウンフラッシュが目撃された事例はない。晴れた日中に出現することは、日射が光源になっていることを示唆する。動画を見ると、クラウンフラッシュは、サーチライトをすばやく動かしているような印象を与える。クラウンフラッシュが、常に、雄大積雲の影側から目撃されることは、雲頂に照射される日射が光源であることを強く示唆する。

しかし、太陽が雄大積雲の真後ろにあるとき、クラウンフラッシュが発生した事例はない。常に、太陽は、観察者とクラウンフラッシュを結ぶ視線から、横方向にずれている。その点で、太陽柱とは、明らかに異なる。

晴れた大気圏は、太陽の方向から降り注ぐ平行光線と、日射の散乱光から構成される。散乱光の強度が、昼間の明るさに関係している。普通の青空には、太陽の方向以外には、散乱光以上の明るい光は存在しない。

一方、クラウンフラッシュは、明らかに背景の青空よりも明るい。そのような光線は、視線方向の平行光線以外にはあり得ない。太陽の方向以外の大気上層から、平行光線が降り注ぐ可能性はあるのか。その可能性が、もっとも大きいのが、「22度ハロ光」なのである。特に、太陽と水平方向の「22度ハロ光」は明るさが強いので、「幻日」と呼ばれている。クラウンフラッシュの光源が「22度ハロ光」と考えて矛盾はない。

8. おわりに

本稿では、以下の点を提案した。

- ①「クラウンフラッシュ」の光源は「22度ハロ光」である。
- ②雄大積雲の雲頂が「22度ハロ光」の反射体になっている。
- ③光柱がサーチライトのように動くのは、(視線方向の)「22度ハロ光」が当たる雲頂の角度が、時々刻々、変化するからである。
- ④上向きの反射光は、雲頂の直上に存在する底面を水平にした氷晶群によって、下向きの光線になって、観察者の眼に入る。
- ①～④が実現するのは、ごくまれである。クラウンフラッシュが、ごくまれにしか発生しないことと整合的である。

残念ながら、以上の提案は、推測にすぎない。クラウンフラッシュには、まだ、未知の部分が大きい。若い研究者が、新しい研究領域を開拓することを期待したい。本稿が、そのきっかけになれば、幸いである。

謝 辞

本稿の草稿は、浅野正二氏（東北大学名誉教授）と森 厚氏（桜美林大学）に見ていただき、貴重なコメントをいただいた。特に、浅野氏には、大気光学の専門家としての、長文のコメントをいただいた。また、昔の文献は、新野 宏氏（東京大学名誉教授）に、検索をお願いした。台湾の事例（第4図 b）は上江洲忠弘君（中学の同級生）に教えていただいた。上江洲君とは、メールの議論で、本稿のアイデアを生むヒントを教えていただいた。編集担当の萩野谷成徳氏は、問題点を明確にいただいた。記して感謝の意を表します。

本稿は、YouTube に投稿された多くの気象愛好家

の動画を引用した。彼らの投稿がなければ、本稿は成立しない。面白い現象を撮影し、投稿いただいたことに感謝します。

後 注

[注1] YouTube@hedarachanel 「CROWN FLASH・クラウンフラッシュ」, https://youtu.be/Qq4B_RjWcwQ (2023.10.16閲覧)。

[注2] YouTube@HRHMSK 「Crown flash (クラウンフラッシュ)」, <https://youtu.be/Txnr5Xrnw0w> (2023.10.16閲覧)。

[注3] 「クラウンフラッシュ」, ウィキペディア, <https://ja.wikipedia.org/wiki/クラウンフラッシュ> (2023.10.16閲覧)。

[注4] <https://www.facebook.com/meteoredofficial/videos/731829587942474/> (2023.10.16閲覧)。

[注5] <https://www.facebook.com/RedClimaticaMundial/videos/707176239941588/> (2023.10.16閲覧)。

参 考 文 献

- Gall, J. C. and M. E. Graves, 1971: Possible newly recognized meteorological phenomenon called Crown Flash. *Nature*, **229**, 184-185.
- Graves, M. E., J. C. Gall and B. Vonnegut, 1971: Meteorological phenomenon called Crown Flash. *Nature*, **231**, 258.
- Monthly Weather Review, 1885: Atmospheric electricity, **13**, 100-104.
- Vonnegut, B., 1965: Orientation of ice crystals in the electric field of a thunderstorm. *Weather*, **20**, 310-312.
- 矢田猛士, 竹内幹蔵, 太田 哲, 2010: 三瓶山北の原で見られた光柱現象. 島根県立三瓶自然館研究報告, (8), 51-58.