

雪結晶の散乱光照明による顕微鏡写真撮影法 (II)

The method of taking the photomicrograph of the snow crystal by the scattering illumination (II)

油川 英明

Hideaki Aburakawa

Corresponding author: abuhide@nifty.com

By the method of taking the photomicrograph, the color picture of the snow crystal was taken clearly and it could be changed more vividly with reversing to its complementary color by the operation of the computer. Moreover, the three-dimensional picture of the snow crystal was taken by the scattering illumination adjusted the position of the color filter and consequently the pattern of concentric circles such as flat flows of liquid water was found on the surface of the crystal, which could not be seen by the ordinary illumination of the microscope.

1. はじめに

一昨年の報告¹⁾は散乱光照明を用いた雪結晶の顕微鏡撮影に関わる原理的なことであったが、本論においてはそれを応用して撮影した雪結晶の写真およびその画像処理について紹介する。

雪の結晶は無色透明な物質で、表面や内部には特徴的な起伏や気泡等がある²⁾ことから、その顕微鏡写真は照明の方法により色彩に富んだ立体的な結晶の撮影をすることができる。例えば、吉田³⁾や Ribbrecht and Rasmussen⁴⁾のカラー写真がその代表としてあげられる。

ところで、上記の写真は撮影の詳細が示されていないので同様の写真を撮ることはできないが、本撮影法のように散乱光の照明を用いかつカラーフィルターの位置を調整することにより、それらに類似した写真を撮影することができる。そして、さらに適度なフィルターの調整により雪結晶の起伏形態が比較的鮮明に撮影され得るので、通常の顕微鏡照明で撮影された写真には見られない結晶表面の文様が写し出される。これは雪結晶の成長機構を究明するうえで貴重な資料となるものである。

また、顕微鏡のフィルターの色を適当に選択して撮影し、それをコンピュータの画像処理により補色反転を行えば、雪結晶の形態がより鮮明に示される。これは雪結晶の標本写真などに適しているものと見なされる。

本論ではこれらについて報告を行う。

2. 雪結晶の撮影方法

今回の雪結晶を顕微鏡撮影する方法は一昨年のものでほとんど同じであるが、ただ、フィルターの設定に少し違いがある。図1に撮影の原理を示す。ここで先ず、光源のLEDランプを乱反射体の円筒(内側に細かな凹凸のアルミ箔を貼り付けたもの)に挿入し、照明を散乱光に変える。このような照明光は無影灯(Astral lamp)として医療の現場等で利用されており、光源前の器物の影が短い距離で消滅してしまう。図1では、光源の前に置かれたフィルターの影が顕微鏡の載物台の場所では消えて、載物台上に置かれた雪結晶には白色光だけが照射されて白く輝き、顕微鏡の視

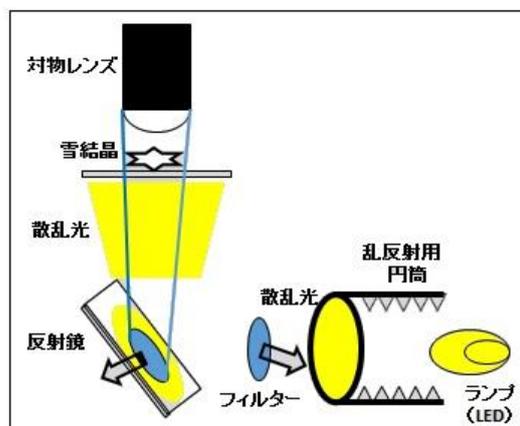


図1 散乱光照明による顕微鏡写真撮影の原理。

野はフィルターの色に見えることになる。

今回の撮影は、図1に示したようにフィルターを矢印方向へ少し動かし、散乱光の照明を若干偏らせるだけのものであるが、この操作により興味深い写真を撮影することができた。

3. 撮影された雪結晶の写真について

(1) フィルターが視野の中心にある場合

図1において、フィルターの位置が顕微鏡の視野の中心にくるようにし、視野全体がフィルターの色(今の場合は青色)で均一になるようにする。これを便宜的にタイプ①の撮影法と称する。このようにして撮影された写真を図2に示す。

図2の写真は、雪結晶に対して散乱光が均等に照射されるので、結晶の輝きが一様に撮影され、

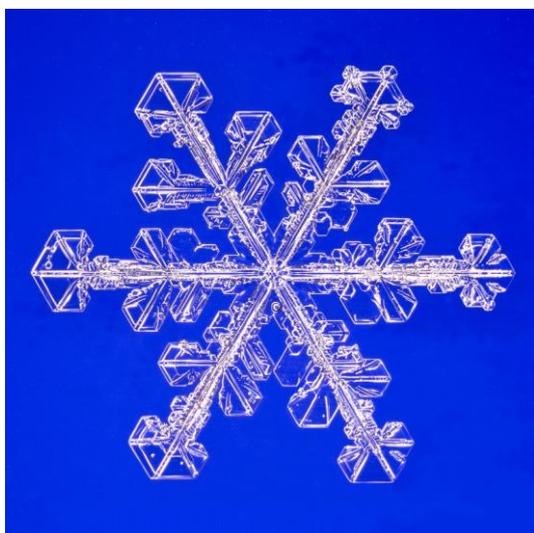


図2 タイプ①の撮影例

形態的な特徴を全体として把握できる。

(2) フィルターが視野の内側の縁にある場合

フィルターの位置が顕微鏡の視野の中心からずれて、視野の内縁にフィルターの端が丁度くるように調整する。これをタイプ②と称し、そのようにして撮影された写真を図3に示す。これは吉田³⁾の一光源二色照明法による撮影写真に近いように見られる。

(3) フィルターが視野の外側の縁にある場合

フィルターの位置が顕微鏡の視野から外れて、視野の外縁にフィルターがくるように調整する。これをタイプ③と称し、その例を図4に示す。これは単色の映像となっているが、Ribbrecht and Rasmussen⁴⁾の写真に似かよったものとなっている。



図4 タイプ③の撮影例

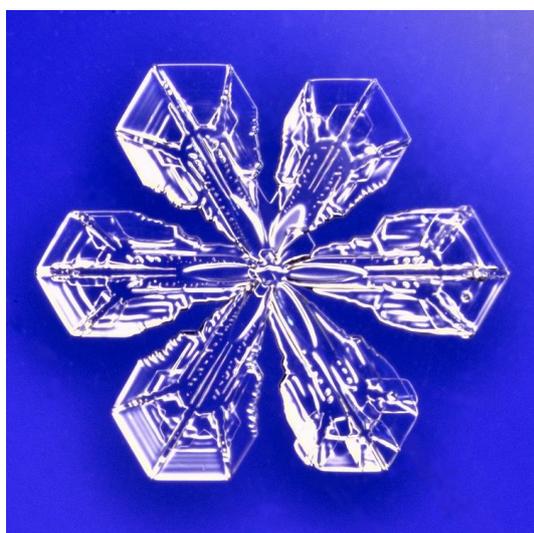


図3 タイプ②の撮影例



図5 タイプ④の撮影例

(4) フィルターが視野の中間にある場合

フィルターの端が顕微鏡の視野の中間にくるように調整する。このタイプを④と称し、その例を図5に示す。この場合はフィルターと照明光の色が混合して色彩的なグラデーションをつくり出し、雪結晶がより立体的に際立って見える。

4. 雪結晶の波状文様について

図6は、タイプ④の撮影方式により撮られた雪結晶の写真である。この方式は結晶の立体的な構造が比較的鮮明に撮影されるので、表面の僅かな凹凸であっても見出すことができる。図6の雪結晶は中央の扇形部分に波状文様が幾筋も見られ、それらは結晶の中心から同心円状に広がっている。また、この結晶は左上と右下の部分が中央で二分割され、波状文様は左上の結晶部分にだけ写っている。

雪結晶は板状結晶の場合、一般的には上下の二重構造を成し、板状の内側は結晶特有の文様が存在する「裏」の面、その外側は平坦な「表」の面となっている⁹⁾。つまり、図6の結晶の左上の四花は下段に位置した「裏」の面、右下の四花は上段に位置した「表」の面という二段の構造を示しているわけである。そして、この二つの四花は同じ形態で、同じ環境の下で成長したと見なされることから、波状文様は両方に存在すると推定される。ただ、右下の結晶の波状文様は画面の向こう側にあるために、かつその起伏が微細であることから、文様の濃淡が厚みのある結晶体を透過して写真に写るまでには至らなかったものと推察される。これに対して、左上の部分はこちら向き

の画面に文様が存在していることから、その露出している微細な起伏が散乱光照明の偏りの効果によって写し出され得たものと見なされる。

ところで、図6の結晶に見られるような波状文様は、これまで定説とされてきた中谷¹⁰⁾による雪結晶の昇華成長説ではその成因の解釈が困難となる。すなわち、雪結晶の成長が水分子の昇華によるものであれば、結晶表面は水分子の規則的な配列により線状のステップ文様になるわけで、図6のように同心円的な波状文様を形成することにはならない。

天然の雪結晶が過冷却雲粒を捕捉して成長するもの^{7,9)}であるという液相成長説を基にすれば、図6の波状文様の湾曲は、雲粒により供給された液相の水の薄膜による成長と理解できる。このような結晶の成長文様に関しては、小林¹¹⁾による氷のVLS成長実験における液相(L)から固相(S)への結晶成長にその類似例が見られる。

なお、図6の雪結晶は左上と右下の二つの四花が結合した結晶に見えるが、実際は単一の結晶であると判断される。すなわち、図6の結晶の輪郭を抽出し、各枝の配置関係を図7に示すと、左上と右下の二つの枝は各々直線で結ばれ、一つの雪結晶として成長していることが分かる。つまり、このような雪結晶は、昇華成長による二つの結晶が単に結合したものとはいえないわけである。

5. 補色反転による雪結晶の写真

本撮影方法による雪結晶の写真は、通常は図2に示したように、背景はフィルターの色、雪結晶は光源の色(今の場合白色)に写し出される。



図6 波状文様の雪結晶

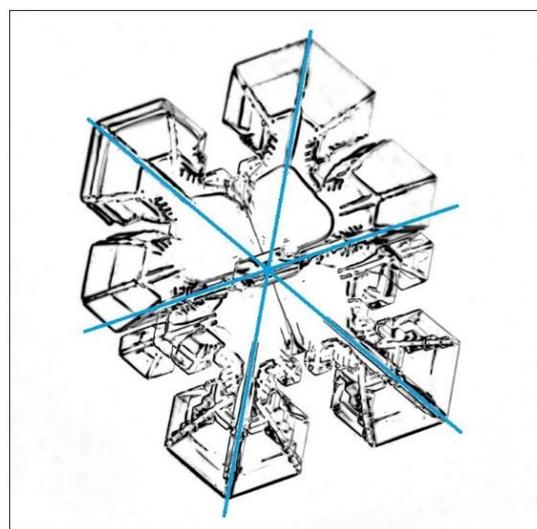


図7 図6の結晶の枝の配置

いま、望みの背景色のもとに雪結晶の写真を得たいときは、先ず背景色を決め、その補色のカラーフィルターを作製し、それを装置に挿入して撮影を行う。そして、この写真(画像ファイル)は、コンピュータにより補色反転の画像処理を行うことにより、背景は相応の色に反転され、雪結晶の白色部分は黒色に反転される。この一例として、褐色系のフィルターにより撮影された元画像を図8に、そして、それを補色反転した画像を図9に示す。

このような撮影と画像処理により雪結晶はより鮮明に写し出されるわけであるが、これは、通常の照明光にフィルターを挿入して撮影した顕微鏡写真では得難い効果である。



図8 褐色系のフィルターで撮影された雪結晶の写真

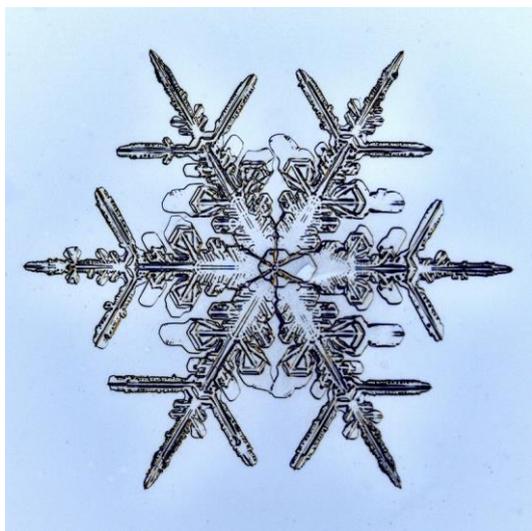


図9 図8の写真が補色反転されたもの

6. おわりに

雪の結晶は無色透明かつ繊細で、その形態は蒸発などで刻々と変化することから、顕微鏡の写真撮影は適度な明るさと色合いの照明が肝要であると考えられる。今回は、散乱光の照明とフィルターの位置を適当に調整することにより望外の撮影効果を得ることができた。

特に、吉田³⁾の一光源二色照明撮影法は、著者には一部不明なところもあったが、今回の撮影でおおよその見当がついたように感じられる。つまり、吉田の方法は照明の光とフィルターの配置にポイントがあったものと推察されるが、散乱光の照明効果に関しては今後も考察を深める必要があるものと考えられる。

今回は顕微鏡の視野にグラデーションを施して撮影したのものもあるが、これは照明の傾きを比較的大きく調整できたことから、雪結晶の微小な起伏形態を鮮明に写し出すことができた。なお、本論に掲載されている雪結晶の大きさは3mm内外の径のものである。

本研究の雪結晶の観察や写真撮影は、NPO 法人雪氷ネットワークの2018年度事業活動として、大雪山系旭岳の山麓で行われた。

【参考・引用文献】

- 1) 油川英明, 2017: 雪結晶の散乱光照明による顕微鏡写真撮影法, 北海道の雪氷, **36**, 13-16
- 2) 前野紀一, 黒岩大助, 1966: 雪の結晶の中の気泡, 低温科学, **24**, 81-89
- 3) 吉田六郎, 2001: 雪の結晶, 東京, 平凡社, 48pp.
- 4) K. Libbrecht and Rasmussen, P., 2003: The SNOWFLAKE, Minnesota, U.S.A., Voyageur Press, 112pp.
- 5) 油川英明, 1992: 雪結晶の「裏」と「表」について, 雪氷, **54**, 123-130
- 6) 中谷宇吉郎, 1949: 雪の研究, 東京, 岩波書店, 161pp.
- 7) Kumai, M. 1951: Electron-Microscope Study of Snow-Crystal Nuclei, *J. Meteor.*, **8**, 151-156
- 8) 油川英明, 2018: 「雪の結晶は二つと同じものがない」のはなぜか? 北海道の雪氷, **37**, 55-58
- 9) 小林禎作, 1980: 六花の美, 東京, サイエンス社, 83-104