

暗視野照明の顕微鏡によるベントレー式雪結晶写真の撮影法

油川英明・尾関俊浩(北教大岩見沢)・島村 誠(北大低温研)

1. はじめに

二つの光源を用いた暗視野照明の顕微鏡により、ベントレーの雪結晶写真¹⁾と同じように、黒地に結晶が白く写し出される写真の撮影を試みた。出版されたベントレーの写真は実際に撮影されたものではなく、原板上において結晶の部分を取り取り、それを焼き付けしたもので、人為的な操作が加えられている^{2), 3)}。このような写真を直接的に撮影することは通常の顕微鏡では困難であることから、今回、暗視野照明の方法⁴⁾に加え、雪結晶を反射光により撮影する⁵⁾という方法を採用して写真の撮影を行った。雪結晶の撮影は、低温室において人工的に作製された結晶及び天然の結晶について行なわれた。

2. 撮影の方法

図1は、今回試みた雪結晶の撮影原理を示したものである。これは二つ光源を用いて行われる。ひとつの光源からは凹面鏡の中心部を無反射板で覆い、それから暗視野照明を得、他の光源からは対物レンズに取り付けたハーフミラーにより結晶に落射する反射照明を得る。このとき、雪結晶は反射防止被膜が施されたガラス板(今回はカメラのレンズ保護用フィルターを使用)に載せられ、結晶以外からは光が反射しないようにする。また、結晶が載せられたガラス板は自在回転台に取り付けるようにする。それは、板状雪結晶が常に平面状であるとは限らず、むしろ立体的な場合が多いので、第二の光源により最良の反射光を得るため、結晶面の方位を顕微鏡の光軸に対して垂直に調整するためである。そして、このような調整は顕微鏡の焦点を雪結晶の全体に合わせることもなる。

図2は顕微鏡の概観を示したものである。これは一般的な生物顕微鏡であるが、雪結晶の撮影には接眼レンズが5倍、対物レンズは3ないしは4倍のものが適している。このような倍率の対物レンズは開口角が5度程度なので、50

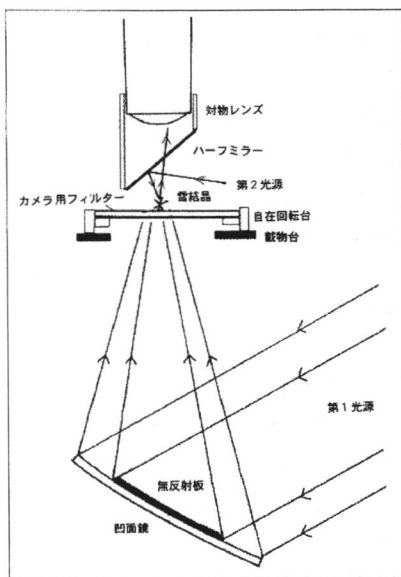


図1 二光源撮影法の原理

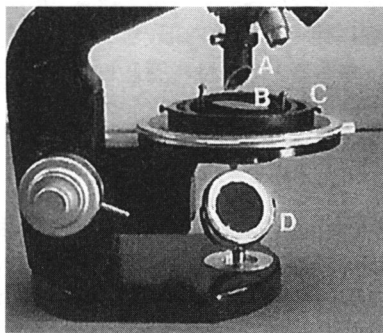


図2 顕微鏡の概観

mm 径の凹面鏡においては35mm 径ほどの無反射板(黒色の台紙)を貼り付けることによって暗視野照明が得られる。また、この無反射板は適当な色の台紙に貼り替えることにより、その色を背景として雪結晶だけが白く写し出されるカラー写真を撮影することができる。

なお、この図において、A は対物レンズに取り付けられたハーフミラー、B は雪結晶を載せるカメラ用フィルター(反射防止被膜が施されている)、C は自在回転台、D は無反射板が取り付けられた凹面鏡である。

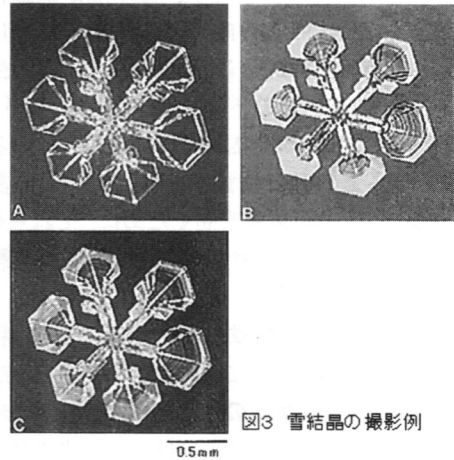


図3 雪結晶の撮影例

3. 雪結晶の撮影結果

図3は、今回の方法により撮影された雪結晶の写真を示したものである。この図で、A は透過光のみによる撮影、B は反射光のみによる撮影、C は両方の照明により撮影されたものである。C の写真は、反射光の効果により雪結晶の表面形態が推察でき、その立体的な形を大略ではあるが把握できる。今回の撮影方法による写真は、図4に示されたベントレーの写真¹⁾のように結晶全体が背景から浮き上がって写し出されてはいないが、他方で雪結晶の表面的な形態を知ることができることはベントレーの写真と異なる点である。

ところで、図3の雪結晶は低温実験室において人工的に作り出されたものであるが、その方法について以下に概略を述べる。

図5において、A は低温実験室で雪結晶を作製するための雲箱で、B はそれを -20°C の低温室に設置した状態を示したものである。この雲箱の中に、 0°C 近くまでゆっくりと冷却された蒸留水を噴霧し、さらに、活性炭により種まきを行う。その結果、数分後に $0.2\sim 0.3\text{mm}$ ほどの結晶が多数生成し、降下してくる。それをガラス板(反射防止被膜が施されたもの)に受け、それを -5°C の低温室に持ち込み、水蒸気の凝結を促すことにより、数分ほどで 1mm くらいの大きさの雪結晶に成長する。

図6は、雲箱における雪結晶の作製時の温度と生成された結晶を示している⁶⁾。雲箱の内部は、水の噴霧によって -20°C から -12°C ほど

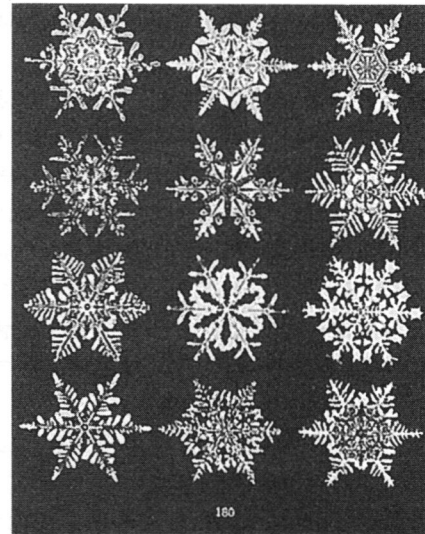


図4 ベントレーの雪結晶写真

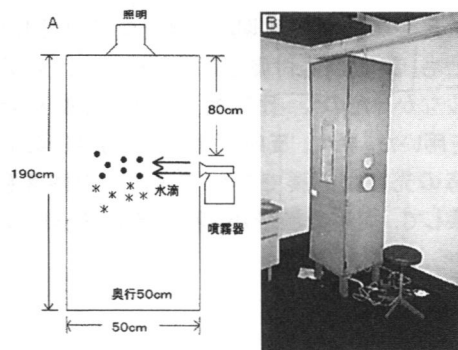


図5 低温室における人工降雪実験

に温度が上昇している。また、微水滴が無数に存在することから、この内部は水飽和の状態にあるものとみなされる。このような条件により生成された結晶が図の下方に示されているが、その形態は小扇形や広幅小六花となっている。なお、結晶上の円形は気泡を示しており、結晶が微小なことから蒸発を防ぐために、それらを灯油に浸してスライドガラスに挟んで写真撮影したためである。

ところで、結晶の生成時間は噴霧から5分程度であるが、中谷の人工雪作製においては広幅小六花が形成するのに、核(この場合は氷晶)が生成してからでも20分ほどの時間を要している²⁾。噴霧式と対流式とのこのような雪結晶の形成時間の違いは、各々の装置により作製される結晶に成長機構の違いがあることを示していると考えられる。

図7は、天然の雪結晶を撮影したものである。図のAは暗視野照明、Bは反射照明、そしてCはそれら二つの照明により撮影されたものである。暗視野照明では輪郭が比較的鮮明に示されているが、中央の角板が透明であるため余り白く輝いていない。これに対して、反射照明ではその角板から反射光が得られ、それらを合わせた写真では樹枝付角板が暗視野のなかで全体的に白く浮き上がっている。

図8は、図6と同様に天然雪の写真である。この角板付結晶の写真は反射光を少し弱めて、結晶の透明感を強調したものである。このように、光源の光量を適当に調節して雪結晶の写し方を変えることができる。この結晶の大きさは1.5mmほどである。なお、雪結晶を撮影する際には光源の光量が大切な要素となる。今回の場合も、顕微鏡に付属している光源では光量が少なかったため、比較的光量の大きな照明具を用いた。特に、反射光は光量が小さいので、相応の光源が必要である。フィルムの感度も勘案して、実際の撮影が1秒以下の露出時間となるように調整した。

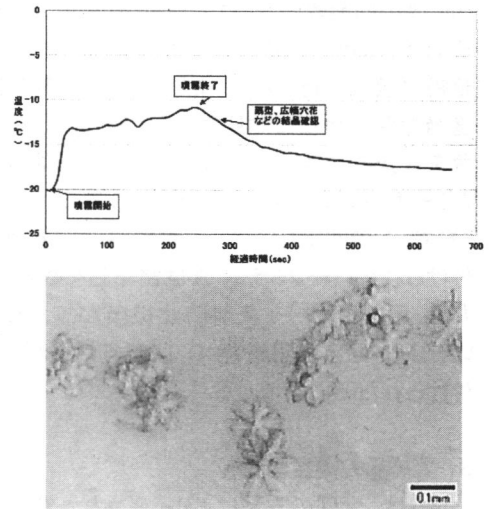


図6 人工降雪実験の温度と結晶の例
(結晶上の円形は気泡)

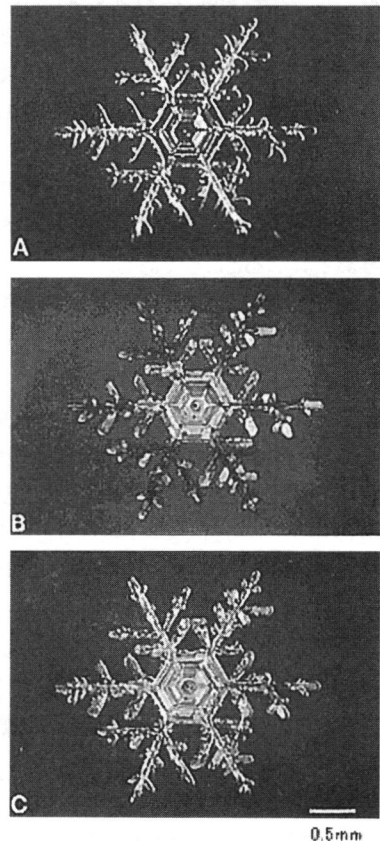


図7 天然雪の撮影例

4. おわりに

雪結晶の顕微鏡写真撮影法として暗視野照明と落射照明を組み合わせることにより、雪結晶を暗視野のなかに白く写し出すことができた。この方法は通常の顕微鏡に対して簡単な部品を施すことにより準備が整えられる。暗視野照明だけによる撮影では通常の顕微鏡観察と全く同じような操作で行える。また、この顕微鏡で、凹面鏡の中央に貼り付ける無反射板を適当な色の台紙に替えれば、その色を背景色として雪結晶のみ白く浮き上がったカラー写真を撮影することができる。この方法により撮影された雪結晶の顕微鏡写真は結晶が背景から分離されて写し出されることから、その形態的な研究、例えば、結晶の対称性⁷⁾や雪結晶のフラクタル次元⁸⁾の解析など、結晶本体とその背景とを分離して取り扱うようなコンピュータの画像解析には有益であると考えられる。

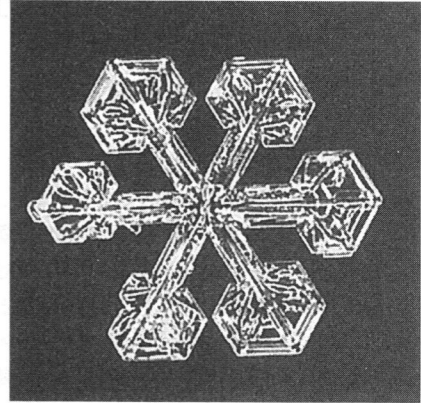


図8 反射光を弱めて撮影した例

参考文献

- 1) Bentley, W.A. and Humphreys, W.J., 1931: Snow Crystals. New York, McGrawHill Book Company, 226pp.
- 2) 中谷宇吉郎, 1949: 雪の研究, 岩波書店, 165pp.
- 3) LaChapelle, E.R., 1969: Field Guide to Snow Crystals. International Glaciological Society, 101pp.
- 4) 油川英明・尾関俊浩, 2001: 暗視野照明による雪結晶の顕微鏡写真撮影法. 北海道教育大学紀要(自然科学編), 52, 第1号, 41-45.
- 5) 油川英明, 1992: 雪結晶の「裏」と「表」について. 雪氷, 54, 123-130.
- 6) 島村 誠, 2002: 低温室における降雪実験. 北海道教育大学岩見沢校平成13年度卒業論文, 50pp.
- 7) 油川英明・尾関俊浩, 2001b: 雪結晶の対称性について. 2001 年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, 16.
- 8) 油川英明・安武 学, 1996: 雪結晶のフラクタル次元について. 北海道教育大学紀要(第2部A), 47, 第1号, 7-15