

扇形結晶及び樹枝状結晶の成長機構 -中谷宇吉郎の人工雪実験から-

山下 晃 (大阪教育大学)

1 はじめに

雪結晶の本格的な研究は、中谷の「雪の研究」(1949)が最初である。その後、結晶成長を研究する新しい分野が誕生し、雪結晶をあらゆる結晶の中の一つであると位置づけた上でその成長機構が論じられ、一定の研究成果が報告されてきた。しかし、雪結晶の美しさを演出する多様な外形や模様形成機構が注目されなくなっているのが現状であり、斬新な研究が期待される。

本研究では、科学映画の古典「雪の結晶」(1951)の扇形及び樹枝状結晶の外形と表面模様の変化に注目した。

2 扇形結晶及び樹枝状結晶の成長機構

以下の板状雪結晶成長に関わる基本的事項のうち、**2-1**は主として「雪の研究」の記述から、**2-2**~**2-6**は主として映画「雪の結晶」の画像解析から得た結論である。

**2-1 低次結晶面と曲面の共存及び表面模様** 扇形結晶などの主軸(c軸)に垂直な表面の大多数は、表と裏とを明確に区別できる。主として基底面が現れているのが表(図1(a))で、部分的には曲面が現れていて凹凸模様(筋模様と縞模様)があるのが裏(図1(b))である。2つの柱面が接するエッジ部分を発生源とする筋模様Mは、この部分の(ベルグ効果による)c軸向き肥厚によって生じ、結晶外形変化の経過を記録している。mで示した縞模様は柱面が成長するときの結晶の厚さの揺らぎを表している。

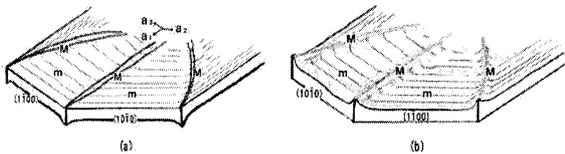


図1 扇形結晶の表面模様と表(a)と裏(b)

M:筋模様 m:縞模様(透過光で観察した場合のMは2本線)

**2-2 成長の規則性** 主枝も側枝も  $a_1$  軸,  $a_2$  軸あるいは  $a_3$  軸の何れかに平行に成長する(図2と図3)。また、主枝上の側枝の大多数は対で発生する。側枝へと変化するのは、成長中の柱面上で枝の先端部で発生して移動するステップが束ね合いを起こして光学顕微鏡でも観察可能な新しいエッジが生じるときの、先端部からステップが届かなくなったエッジの部分である。

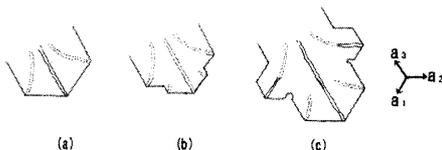


図2 左右対称な枝の場合の枝分かれ発生エッジ発生時(b)から筋模様を確認できる

**2-3 成長機構** 板状の雪結晶は、主枝及び側枝先端部の2つの柱面が接するエッジ部分に生ずる二次元核を起点とする層成長によって誕生する。このことが優れた対称性を

備えた結晶が成長することに深く関わっている。

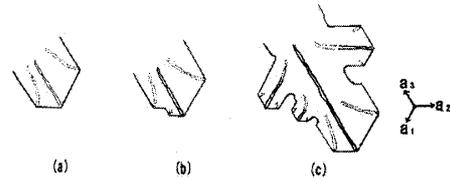


図3 左右非対称な枝の場合の枝分かれ発生(映画で確認)

側枝は対で発生する。ただし、水蒸気供給の不利な側には単独発生もある。主な成長方向は何れかのa軸に平行。

**2-4 扇形結晶と樹枝状結晶** 筋模様発生数の比較的小さいのが扇形結晶であり、その発生が連続的で一定間隔なのが樹枝状結晶である。筋模様の違いによって両者を区別できる。

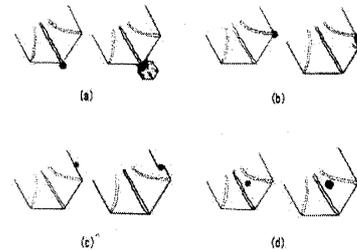


図4 付着位置別の凍結雲粒の影響

(a)~(d)の各々について:左が付着位置、右がその影響

**2-5 雲粒付着の効果** 凍結雲粒の付着位置別の影響は図4のとおりである。

**2-6 曲面の発生発達と低次結晶面の発生発達** 表面模様には(その凹凸が)発達するところ(曲面→曲面)と消失(曲面→低次結晶面)するところとがある。

3 筋模様の構造とその変化

「雪の研究」は筋模様を稜線と細溝と記述し、図5(b)に示したような扇形結晶の観察結果に基づく断面図を描いている。Frank(1982)は雪の特徴を the lacunary catastrophe が生じた結晶だと表現し、筋模様が同図(a)の状態から細溝を伴った(b)へ移行することも説明している。

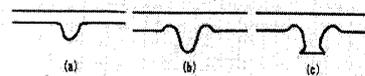


図5 筋模様の発達過程(断面)

(a)発生初期 (b)「雪の研究」のスケッチ  
(c)筋模様上の基底面発生による2枚板結晶の誕生

このように成長する雪結晶表面には柱面など低次結晶面の他に曲面が存在し、曲面上の低次結晶面の発生と(その逆の)低次結晶面の消失とが、複雑に運動しながら降る結晶の表面で絶えず起こっている。

文献:1.中谷宇吉郎(1949):雪の研究,岩波書店  
2.岩波映画製作所(1951):雪の結晶(映画) 3.Frank(1982):Snow crystals,CONTEMP. PHYS.23,No.1,3-22