

## 低温室にできた氷柱の結晶構造

竹内由香里\*・前田直哉\*\*・永崎智晴\*\*・山田英樹\*\*・王昕\*\*・佐藤真理子\*\*

### Structure of the ice pillar in the cold room

by

Yukari TAKEUCHI, Naoya MAEDA, Tomoharu NAGASAKI, Hedeki YAMADA,  
Xin WANG and Mariko SATO

(Abstract)

Ice pillar, which means ice stalagmite linked to icicle in this paper, was formed in the cold room and the height of it was 185 cm. The growth processes of the ice pillar were estimated from the ice structures in the horizontal and vertical cross sections.

The whole ice pillar consists of many ice crystals. Judging from the discontinuity of the ice structure, it can be presumed that the lower part of the ice pillar which had grown upward were linked to the upper part which had grown downward at around 170cm high. Either parts has different ice structure from the natural ice stalagmite or icicle, because too much water dropped intermittently and the air temperature in the cold room was too low during the ice pillar grew.

Keywords : ice pillar, ice stalagmite, icicle, structure of ice crystals, growth processes

キーワード : 氷柱, 氷筍, つらら, 結晶構造, 成長過程

### I は じ め に

新潟大学積雪地域災害研究センターの $-10^{\circ}\text{C}$ の低温室に床から天井まで達する巨大な氷の柱が形成された(写真-1)。この氷は低温室の冷却水が天井を通るパイプの一部から漏れて凍結したものであるが、水が天井から垂れ下がった形で凍結し下向きに伸びたものと、床に落下した水が凍結し上方へ伸びたものがつながって一本の柱状になっている。対馬ら(1983)が、水滴が凍結し上にある異物から下方へ伸びたものは従来通り「つらら」、下にある異物から上方へ伸びたものを「氷筍」、両者の接合したものを「氷柱」と呼ぶように提案しているのに倣い、ここでは低温室で形成された氷を「氷柱」と呼ぶことにする。この氷柱は1996年10月から放置されたまま約2年間にわたって成長し続けた結果、1998年9月8日には高さ185cm、周囲の長さが平均して95cmの大きさであった。また外観からは、天井から下方へ伸びた部分と床から上方へ伸びた部分の区別はつかなくなっていた。パイプからの漏水は1日数回断続的に起こり、1回あたり30秒から1分間持続する。

一般につららと氷筍は氷が成長する向きが逆であり、そのために氷の結晶構造が大きく異なってい

\*新潟大学積雪地域災害研究センター

\*\*新潟大学大学院自然科学研究科

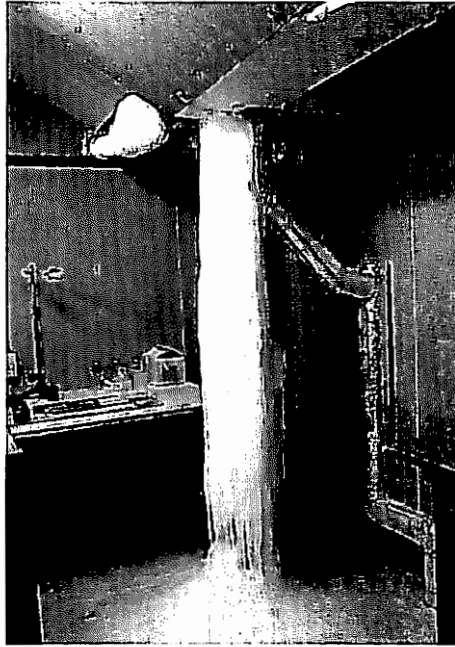


写真-1 低温室内にできた氷柱

ることが知られている。対馬ら（1983）は黒部峡谷志合谷のトンネル出口付近にできた氷筈について、氷筈を構成する結晶粒の数を調べた。その結果、全氷筈の半数が根本の5 cmを除くと単結晶であったことを報告している。なお根元付近は粒径数cmの多結晶であった。一方、つららは多数の結晶粒で構成された多結晶氷であり、つららの水平断面を観察すると中心に向かう多数の結晶粒が放射状に並んでいる様子がわかる。つららが多結晶氷であるのに対し氷筈が単結晶氷となるのは両者の成長過程の違いに起因する。前野ら（1984）によるとつららの先端部は薄い板状氷の管となっていて、内部には常に未凍結の水が取り残されている。この水が周囲から中心に向かってゆっくりと凍結しながらつららは成長する。このため凍結界面で析出した空気が逃げ場を失い、最終的にはつららの中心部に気泡として捕り込まれる。このようにつららが周囲から中心へ向かって凍結するのに対し、氷筈は外形が凸型をしていて結晶粒が内部から外へ向かって放射状に成長するため、外部から新しい結晶粒が入りにくく、上部は巨大な単結晶氷となる（対馬，1998）。

本研究では以上のようなつららと氷筈の成長過程や結晶構造の差異を踏まえ、低温室内にできた巨大な氷柱について、天井から下方へ成長した部分と床から上方へ成長した部分の結晶構造の違いに着目して成長過程を考察した。

## II 結晶構造の観察

### 2.1 方法

氷柱の水平および鉛直断面の薄片試料を作成し、偏光板に挟んで結晶構造を観察した。1998年9月8日時点で氷柱は床から天井まで達して高さが約185cmであった。周囲の長さを天井に接した付け根から10cm間隔で測定した結果が表-1である。25cmより下の部分は急激に広がり、床に付着した氷は差し渡しが最大で2 m以上になっていた。薄片試料を作成しやすくするために最下部の25cmを残して

氷柱を40cm間隔で4等分し、上から順にA, B, C, Dとした。各部の質量はAから順に12.5kg, 19.0kg, 23.0kg, 22.5kgであり、これらを合計すると77.0kgであった。

まず水平断面の薄片試料を作成するため、A, B, C, D各々の底面から鋸で厚さ約5cmの水を切り取った。これを50cm四方、厚さ4mmの銅板にのせて電熱器で加熱し、少しずつ融かしながら厚さ1mm程度の薄片試料に仕上げた。その薄片試料を50cm四方の2枚の偏光板に挟んで結晶構造を観察した。次に残ったA, B, C, D各部の中心付近を用いて同様に鉛直断面の薄片試料を作成し、偏光板に挟んで結晶構造を観察した。

## 2. 2 結 果

偏光で見た氷柱の水平断面の結晶構造を写真-2に示す。(a)180-185cm, (b)137-142cm, (c)105-110cm, (d)65-70cm, (e)25-30cmの高さに相当する水である。氷柱は全体的に多数の細かい粒径の結晶氷から形成されていることがわかる。氷柱下部の(e)は0.5-1cmの粒径の結晶で構成され、偏光板を通して鮮やかに色づいて見える。写真中の矢印付近を芯として放射状に結晶が成長したことがうかがえる。

氷柱中程の(b), (c), (d)では矢印で示した色づいて見える部分は粒径が比較的大きく、特に(c)では粒径が1-2cm以上の大きな結晶が見られる。色づいた部分の結晶構造から、(e)と同様にこの粒径の大きなところを芯として氷が太く成長したと推定できる。偏光写真で白く見えるところは様々な方向を向いた結晶が多数重なっていることを意味するので、薄片の氷の厚さが一様であるとすれば、(b)(c)(d)の断面の大部分を占める白い部分には粒径1mm未満の細かい結晶が重なっていると考えられる。

氷柱最上部の(a)は全体的に粒径が0.5-1cmの比較的大きな結晶で構成されている。しかし(b)~(e)でみられたような放射状に伸びる構造は不明瞭である。

次に氷柱の鉛直断面の偏光写真を写真-3に示す。これらは写真-2でみられた芯の部分を通る断面であり、(a)150-180cm, (b)110-137cm, (c)70-105cm, (d)30-65cmの高さに相当する。(d)では中心部に粒径が大きく、色づいて見えるところがあり筈状に伸びている様子がわかる。また、(b)(c)でみられる帯状の黒いところも粒径1cm以上の大きな結晶が鉛直方向に伸びている。さらにこれらの筈状あるいは帯状の芯から水平方向へ広がる結晶構造がみられ、その周囲を粒径1mm未満の細かい結晶が覆って白く見える。一方、最上部の(a)には黒く見える大きな結晶が(b)(c)と連続して帯状に伸びる部分は確認できなかった。(a)の写真右側には縦方向に伸びるやや大きな結晶構造がみられるが、中央部や上部の結晶の並び方には方向性がみられない。

## Ⅲ 考 察

以上の結果に基づいて、低温室に形成された氷柱の成長過程を推定した。写真-2の(b)~(e)で

表-1 氷柱の周囲の長さ

床からの高さ (cm)	周囲の長さ (cm)
185	67
175	83
165	88
155	85
145	87
135	89
125	92
115	95
105	96
95	103
85	102
75	102
65	102
55	106
45	103
35	103
25	108

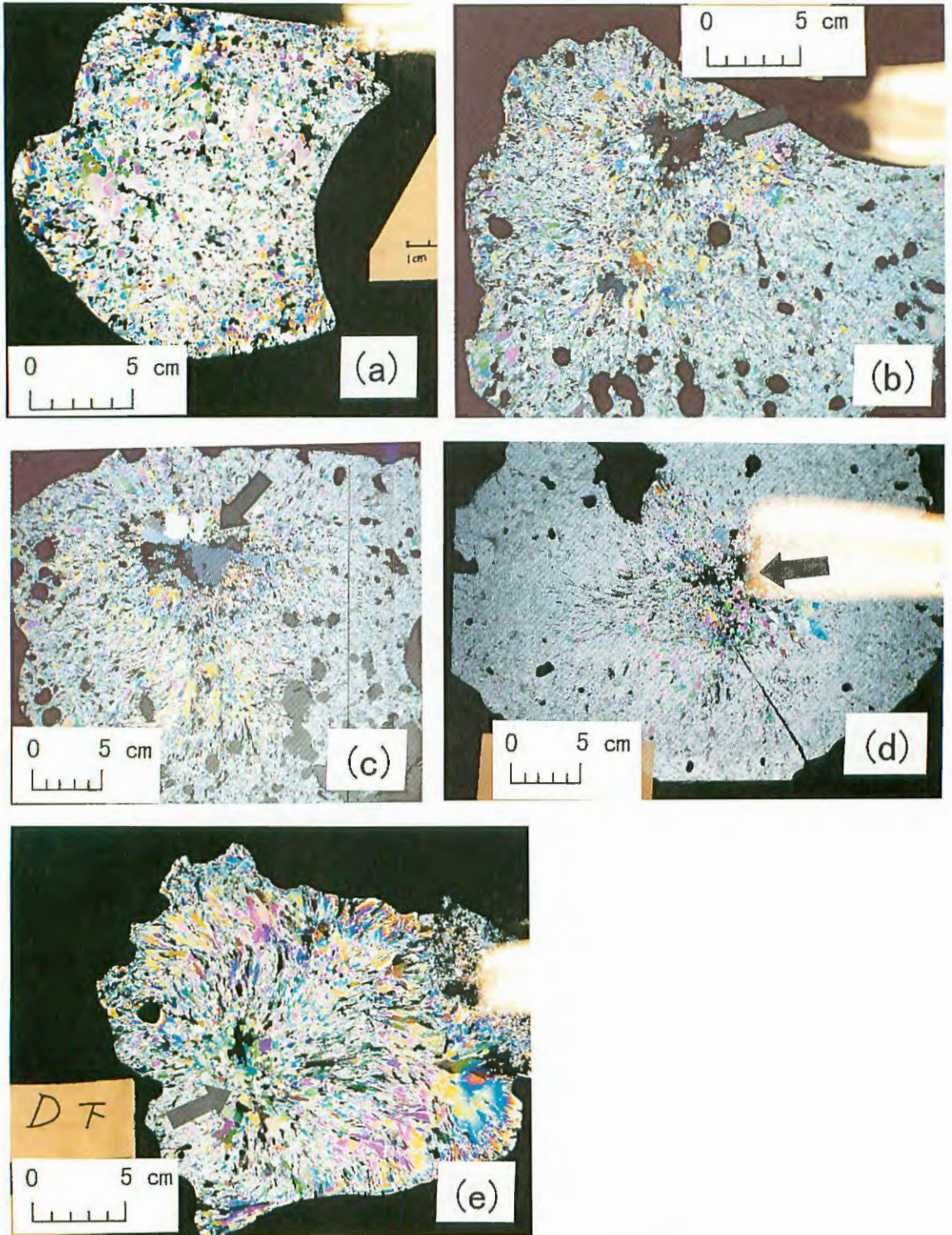


写真-2 偏光で見た氷柱の水平断面の結晶構造

(a) 180-185cm, (b) 137-142cm, (c) 105-110cm, (d) 65-70cm, (e) 25-30cm

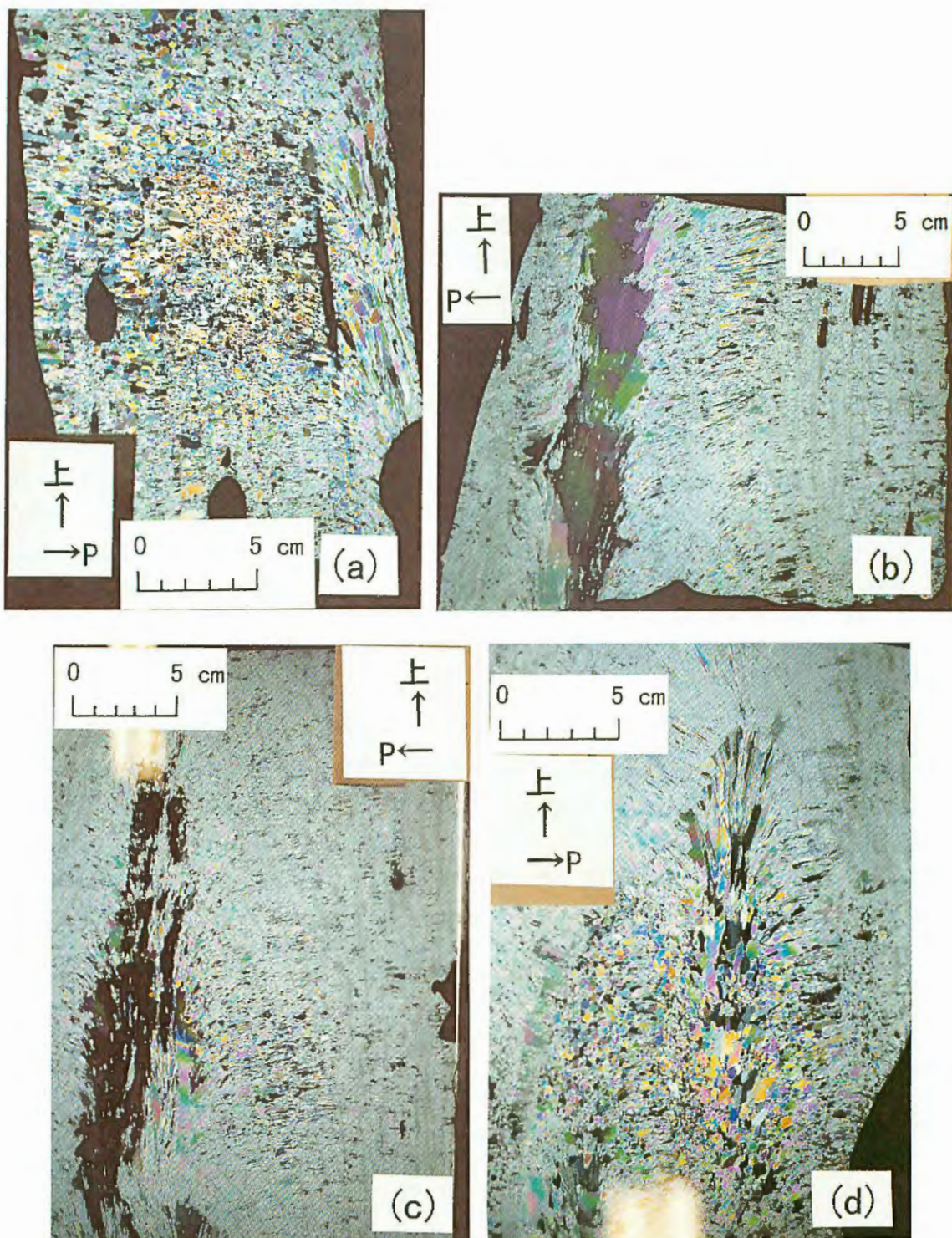


写真-3 偏光で見た氷柱の鉛直断面の結晶構造

切断する前の氷柱の向きを矢印で示した。“P”はパイプ（写真-1参照）の方向を指す。

(a) 150-180cm, (b) 110-137cm, (c) 70-105cm, (d) 30-65cm

みられたような芯から放射状に伸びる結晶構造や、写真-3 (b)と(c)の黒く帯状に伸びる連続した結晶構造が(a)ではみられなかった。このことから、氷柱のうち天井から下向きに成長した部分と床から上向きに成長した部分が接合したのが、氷柱最上部のA、すなわち高さ170cmあたりであると推定できる。そうするとB、C、Dは床から上向きに成長したと考えられる。写真-3 (d)では確かに筍状の結晶構造がみられるので、上向きに伸びたことがうかがえる。また写真-2では芯の部分の結晶粒径が下部の(e)や(d)に比べて(c)の方が大きくなっていて、これはこの部分の結晶が、氷筍と同様に、外から入ってくる新しい結晶を排除しながら上向きに成長したためと考えられる。

人工的に単結晶の氷筍を大量生産した対馬(1998)によると、氷筍は水滴の大きさや水温、滴下間隔が適当でないと多結晶の氷になる。このため氷筍を単結晶の氷に育てる際には水滴の調整が重要であることを述べている。低温室でできた氷柱は全体が多結晶氷であり、上向きに成長した部分も単結晶とはほど遠い粒径の小さな多結晶氷となっていた。これは水の供給が断続的であり、しかも一度の供給量が多すぎたためと考えられる。また、天然の氷筍がみられる黒部峡谷志合谷の1、2月の平均気温が-3~-4℃である(対馬, 1983)のに比べると単結晶になるには低温室の気温(-10℃)が低すぎたといえる。

天井から下向きに成長したと思われるAの上部でつららのように放射状に並ぶ結晶構造がみられなかったのも、落下する水滴がつららの成長に適した条件を満たしていなかったためといえる。すなわち、つららのように先端部に残った未凍結の水が周囲からゆっくり凍結しながら成長したのではなく、完全に凍結して乾いた氷の周囲に水滴が付着して凍結することを繰り返しながら成長したと考えられる。

#### IV ま と め

低温室に形成された高さ185cmの氷柱について、水平および鉛直断面の結晶構造を観察し、氷柱の成長過程を推定した。氷柱は全体的に多数の結晶から形成されていた。結晶構造の不連続性から、床から上向きに成長した部分と天井から下向きに成長した部分が高さ170cmあたりで接合し、その後周囲に付着した水滴が凍結して一本の柱状になったと推定した。水の供給が断続的であり一度の供給量が多かったこと、低温室の気温が低かったことにより、上向き、下向きに成長した氷のどちらも天然の氷筍やつららとは異なる結晶構造になったと考えられる。なお本観察で得られた知見は、自然界で多様な条件で成長した氷柱を理解する上で参考になると考えられる。

#### 謝 辞

本研究を行なうにあたり新潟大学積雪地域災害研究センターの小林俊一氏ならびに和泉薫氏に有益な助言をいただき、また必要な機材を揃えていただいた。心から感謝申し上げます。

#### 文 献

- 対馬勝年・中川正之・川田邦夫(1983):氷筍, 雪氷, 43, pp.197-200.  
対馬勝年(1998):スケートリンクの氷, エネルギーレビュー, 7, pp.8-11.  
前野紀一・高橋庸哉(1984):つららの研究I—つららの構造と成長の一般的特徴—, 低温科学物理篇, 43, pp.125-138.