

丸い模様を持つ凍結溢泌液の形の特徴

— 十四面体氷晶のように凍る水滴 —

藤野丈志¹

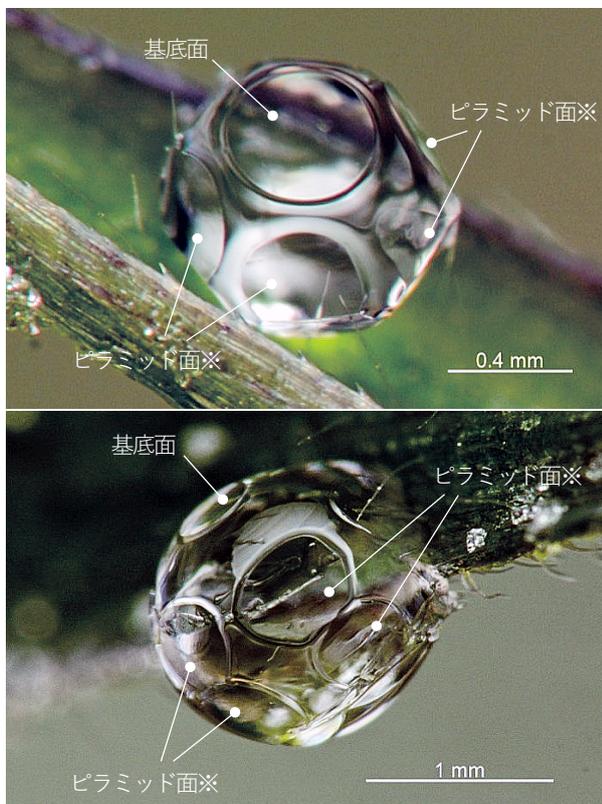
(1:株式会社興和)

1. はじめに

降霜があった朝、植物の葉の先や縁に、溢泌液(植物が排出した体内の過剰な水分)が凍ってできた凍結水滴を見つけることができる。その中に十四面体氷晶のようにみえる丸い模様を持つ凍結溢泌液が観察された¹⁾。2019/2020 冬期の16日間観察した丸い模様を持つ凍結溢泌液について、形の特徴で分類した結果を報告する。

2. 丸い模様を持つ凍結溢泌液

丸い模様を持つ凍結溢泌液は、自宅近隣で自生しているイネ科植物のヒゲナガズメノチャヒキ、及びイヌムギの葉の先端および葉の縁で観察されている。図1に丸い模様を持つ凍結溢泌液の例を示す。円もしくは丸みのある六角形をした単独の面と、二つペアの丸い面もしくは模様があり、単独の面は基底面、ペアの丸い面はピラミッド面かそれに近い面とみられるもので、それぞれの面の縁が丸い模様として認識される。ペアの丸い面は、結晶面と確認されていないが便宜的にピラミッド面と記載する。



※結晶面と確認されていないが、便宜的にピラミッド面と記載

図1 丸い模様を持つ凍結溢泌液

3. 観察方法

マクロレンズをつけたデジタルカメラで、丸い模様のある凍結溢泌液を目視で確認し撮影した。撮影時間帯はおおむね午前6時から7時の間で、日の出前か日の出後でも日陰で、日差しを受けていない場所で観察した。撮影した写真から、基底面及びピラミッド面とそれ以外の球面部分の表面の特徴に注目し、その分類をおこなった。また、写真上で凍結溢泌液に楕円をあてはめ、その長径と撮影倍率から直径を求めた。

4. 観察結果

4.1. 分類とその特徴

丸い模様をもつ凍結溢泌液を、表面の特徴から分類した結果を表1に示す。また分類ごとの凍結溢泌液の例を図2に示す。図中、Bは基底面を、Prは柱面を、Ryはピラミッド面を示す。いずれも平坦な結晶面だけではなく、凹凸ができていたり輪郭のみのもを含む。

A型は基底面、ピラミッド面、柱面が見られるものである。それぞれの面はおおむね円形の輪郭を持ち、球面部(基底面・ピラミッド面・柱面の面及び輪郭以外の表面)は、なめらかな曲面を持つもの(図2 A-a)と階段状の構造を持つもの(図2 A-b)がある。

B型は基底面とピラミッド面はあるが、柱面が見られないものである。基底面とピラミッド面はほぼ平面になっており、球面部からは少し飛び出していることが多い。c軸方向に隣接するピラミッド面同士は交わっていることが多いが、b軸方向は離れているものがほとんどである。球面部はなめらかな曲面のものが多く、わずかに凹凸が認められるものはあるが、はっきりとした階段状構造はみられない。基底面とピラミッド面が大きいものは、角のない十四面体氷晶のようにみえる。

C型はピラミッド面に相当する模様内部に様々な形の凹凸があることが特徴である。凹凸は基底面と柱面で形作られていることもあるが、多くは不規則な曲面である。基底面はほぼ平面である。球面部はなめらかな曲面のもの(図2 C-a)と、基底面を中心とした階段状の凹凸を持つもの(図2 C-b)がある。球面部がなめらかなものは、目視でB型同様に十四面体氷晶のように見えるものがある。

D型は霜が成長しているものである。基底面は明瞭に観察されるが、ピラミッド面はその縁に霜が成長して不明瞭となっていることがある。球面部はなめらかな曲面のもの(図2 D-A)と、細かな凹凸や霜が成長しているもの(図2 D-b)がある。



記号は B:基底面 Pr:柱面 Py:ピラミッド面 を示す

図 2 凍結溢泌液の分類ごとの例

表 1 丸い模様を持つ凍結溢泌液の表面の特徴から見た分類

	基底面	ピラミッド面	柱面	球面部*
A 型	ほぼ平面	ほぼ平面 or 多重の輪郭	ほぼ平面	なめらかな曲面 or 階段状構造
B 型	ほぼ平面	ほぼ平面	無し	なめらかな曲面 or わずかな階段状構造
C 型	ほぼ平面	丸い輪郭内部に様々なサイズの凹凸	無し	なめらかな曲面 or 階段状構造
D 型	ほぼ平面	霜が成長した輪郭 輪郭内部には様々なサイズの凹凸	無し	なめらかな曲面 or 様々なサイズの凹凸 or 霜成長

*基底面・ピラミッド面・柱面の面及び輪郭以外の表面

4.2 観察数と大きさ

表 2 に 2019/2020 冬期の観察日と分類別の観察数を示す。16 日間の観察日すべてで丸い模様を持つ凍結溢泌液を確認した。稀にしか見られない現象ではなく、降霜日にしゃがんで見える範囲を探せば見つけられるものであることがわかった。観察日によって観察時間と観察する地表面積が異なることと、ランダムサンプリングによる観察ではないことから、絶対数を単純比較はできないが、B 型は半数の 8 日間、C 型はほぼ毎回見つけることができた。図 3 に分類別の長径測定結果を示す。図中 Q1 と Q3 は第 1 四分位数と第 3 四分位数である。中央値を見ると、C 型と D 型は長径 1.8 mm で四分位範囲を見てもほぼ同じ大きさであり、B 型の中央値は 1.3 mm、A 型の中央値は 0.7 mm で、四分位範囲を見ても C 型と D 型より小さい結果であった。様々な角度から撮影しているため数値化はできないが、短径は c 軸方向にあるものが多かった。

表 2 観察日と凍結溢泌液の分類別観察数

観察日	A 型	B 型	C 型	D 型
2019/12/9	0	1	1	1
2019/12/10	6	2	0	0
2019/12/14	0	1	5	16
2019/12/16	0	7	3	1
2019/12/25	0	1	20	10
2020/1/18	2	1	5	1
2020/1/26	0	4	10	2
2020/1/27	0	0	2	2
2020/2/3	0	0	4	7
2020/2/10	0	0	1	1
2020/2/12	0	0	1	8
2020/2/21	0	0	5	9
2020/3/7	0	0	3	4
2020/3/13	0	0	2	7
2020/3/26	0	0	1	2
2020/3/30	0	1	1	0
16 日間合計	8	18	64	71

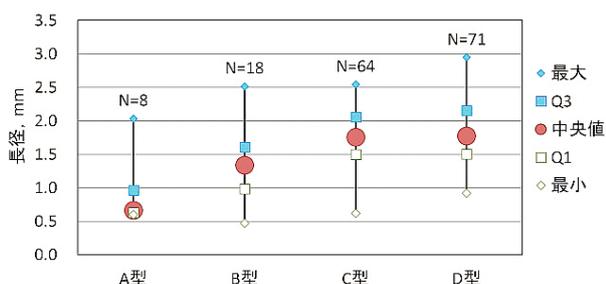


図 3 凍結溢泌液の長径測定結果

5. 考察

観察対象にしている丸い模様を持つ凍結溢泌液は、基底面とピラミッド面の配置と、表面に成長する霜の様子から、ほぼ単結晶と判断されるものである。観察日の前夜には溢泌液は葉についており、水滴の状態から凍結が始まるとみられる。凍結のきっかけは、自発的な凍結のほか、葉の表面に成長する霜が触れることや、葉の表面を伝ってくる氷に触れることが考えられる。その後、溢泌液内部からのブライン排出、溢泌液排出の継続、外気からの水蒸気凝結などで表面に水が供給され、表面で凍結が進んで直径が大きくなると考えられる。表面で氷が液相成長するとき、ピラミッド面の面方向への成長速度が基底面や柱面よりも遅ければ、ピラミッド面が残ると考えられる。ピラミッド面の成長が遅くなる理由には、溢泌液に不凍タンパク質が含まれている可能性をあげる。氷点下の環境で越冬する植物に、不凍タンパク質を持つものがある。不凍タンパク質がピラミッド面(1011面に限らない)の成長を抑制することで、ピラミッド面をもつ小さな氷晶ができると、以降は凍結がほとんど進まなくなる²⁾。その結果、細胞組織を破壊するような凍結を免れる。観察対象のヒゲナガズメノチャヒキとイヌムギの溢泌液に不凍タンパク質が含まれていると、表面を覆う水膜から結晶成長するときに、不凍タンパク質がピラミッド面の成長を抑制し、丸い模様をつくと考えている。表面の形の特徴と直径分布からみると、直径の小さい A 型が成長の初期段階で、成長するにつれ柱面が消失し B 型となり、さら水の供給が続く凍結が進むと C 型、霜も成長する場合は D 型となるという成長過程を考察することができる。

6. おわりに

2019/2020 冬期 16 日間で、合計 161 個の丸い模様を持つ凍結溢泌液を観察した。その結果、表面の特徴から 4 種に分類され、種類ごとに大きさの違いがあった。

ほぼ凍結が終わった凍結溢泌液の観察しかできていないため、溢泌液の凍結過程と丸い模様の形成過程は推定に過ぎないが、表面に水膜があることと不凍タンパク質があることが鍵と考えている。溢泌液が付くところからの連続観察と、溢泌液を使った凍結実験で確かめたい。

参考文献

- 1) 藤野丈志, 2019: 凍結水滴の表面にみられた丸い模様(3). 雪氷研究大会(2019・山形)講演要旨集
- 2) Griffith M., Ala P., Yang D. S. C., Hon W. C., And Moffatt B. A., 1992: Antifreeze protein produced endogenously in winter rye leaves. Plant Physiol. 100, 593-596