

雪結晶は何種類くらい ありますか？

question 1



亀田 貴雄

1

雪

2013年に発表された最も新しい雪結晶の分類（グローバル分類^{1) 2)}）によると、121種類に分類されています（図1-1、表1-1）。ただし、これには直径が0.2mm以下の氷晶が10種類、凍結降水、みぞれ、とうう、ひょう、霰などの固体降水が6種含まれているので、雪結晶に限定すると105種類に分類されます。

次にこの121種類の特徴を説明しましょう。雪結晶が六角柱状に成長したものは柱状結晶群（記号はC）と呼ばれ、15種類に分類されます。雪結晶が平板的に成長したものは板状結晶群（P）で、29種類あります。柱状と板状の雪結晶が組み合わされて成長したものは柱状・板状結晶群（CP）と呼ばれ、41種類です。複数の雪結晶が降ってくる途中で付着・併合した付着・併合結晶群（A）は3種類、雪結晶に小さな過冷却水滴が付着し、凍結した雲粒付結晶群（R）は14種類、雪結晶に成長する前の氷晶は10種類に分類されています。不定形の降雪（多くは積雪表面から風で巻き上げられたものや風雪で雪結晶が破壊されたもの）は不定形群（I）と分類され、3種類です。みぞれ、とうう、ひょう、霰などは、その他の固体降水群（H）として6種類に分類されました。

図1-2に実際の雪結晶を示します。図1-2aは骸晶角柱(C3b)で、柱状結晶群の代表的な雪結晶です。骸晶とは結晶の隅および稜のみが成長して、結晶面の中央部が凹んでいるコップ状の結晶のことです。図1-2bは樹枝六花(P3b)で板状結晶群を代表する雪結晶です。図1-2cは神社で使われている御幣に似た形状の御幣(CP7a)、図1-2dは鳥のかもめに似ている内側角板付かもめ鶯(CP9a)で、このように変わった形の雪結晶もあり

C1a	C1b	C1c	C2a	C2b	C2c	C3a	C3b	C3c
C3d	C3e	C4a	C4b	C4c	C4d	P1a	P1b	P1c
P2a	P2b	P3a	P3b	P3c	P4a	P4b	P4c	P4d
P4e	P4f	P4g	P5a	P5b	P5c	P5d	P5e	P5f
P6a	P6b	P6c	P6d	P7a	P7b	P8a	P8b	CP1a
CP1b	CP1c	CP2a	CP2b	CP2c	CP2d	CP3a	CP3b	CP3c
CP3d	CP3e	CP3f	CP4a	CP4b	CP4c	CP5a	CP6a	CP6b
CP6c	CP6d	CP6e	CP6f	CP6g	CP6h	CP7a	CP7b	CP7c
CP7d	CP7e	CP7f	CP7g	CP8a	CP8b	CP8c	CP8d	CP9a
CP9b	CP9c	CP9d	CP9e	A1a	A2a	A3a	R1a	R1b
R1c	R1d	R2a	R2b	R2c	R2d	R3a	R3b	R3c
R4a	R4b	R4c	G1a	G1b	G2a	G2b	G2c	G3a
G3b	G4a	G4b	G4c	H1a	H2a	H3a	H1a	H1b
H1c	H2a	H3a	H4a					

図 1-1 固体降水の分類図(グローバル分類²⁾より)

ます。

また、図 1-1 の CP6a から CP9e までの 24 種類の雪結晶は -25℃以下の低温環境で生成されることが知られており、総称して低温型雪結晶と呼ばれています。

表 1-1a 固体降水の分類表 (グローバル分類¹⁾ より)

大分類	中分類	小分類	大分類	中分類	小分類	
C 柱状結晶群	1. 針状結晶 <small>しんじょう</small>	a. 針 <small>はり</small>	CP 柱状・板状結晶群	1. 鼓状結晶	a. 角板鼓	
		b. 束状針 <small>そくじょう しん</small>			b. 樹枝鼓	
		c. 針集合			c. 多重鼓	
		2. 鞘状結晶 <small>さやじょう</small>			a. 角板付砲彈	
	3. 角柱状結晶	a. 鞘 <small>そくじょう さや</small>		b. 樹枝付砲彈	a. 角板付砲彈	
		b. 束状鞘		c. 角板付砲彈集合	b. 樹枝付砲彈	
		c. 鞘集合		d. 樹枝付砲彈集合	c. 角板付砲彈集合	
	4. 砲彈状結晶	a. 角柱		a. 針付六花	3. 柱状・板状結晶	a. 針付六花
		b. 骸晶角柱		b. 角柱付六花	b. 角柱付六花	b. 角柱付六花
		c. 巻込骸晶角柱		c. 巻込骸晶付六花	c. 針付角板	c. 巻込骸晶付六花
		d. 細長角柱		d. 針付角板	d. 針付角板	d. 針付角板
		e. 角柱集合		e. 角柱付角板	e. 角柱付角板	e. 角柱付角板
	1. 角板状結晶	a. 角錐		f. 巻込骸晶付角板	4. 交差角板状結晶	a. 交差角板
		b. 砲彈		a. 角板	b. 連鎖交差角板	b. 連鎖交差角板
		c. 骸晶砲彈		b. 厚角板	c. 放射交差角板	c. 放射交差角板
		d. 砲彈集合		c. 骸晶角板	5. 柱状・板状の不規則結晶	a. 角柱・砲彈・交差角板の不規則
2. 扇状結晶 <small>おうぎじょう</small>	a. 扇六花 <small>おうぎ ろっか</small>	a. 角板	6. 骸晶状結晶	a. 骸晶四角形		
	b. 広幅六花	b. 厚角板		b. 多結晶骸晶四角形		
3. 樹枝状結晶	a. 星六花	c. 骸晶角板		c. 多重骸晶四角形		
	b. 樹枝六花	a. 扇六花 <small>おうぎ ろっか</small>		d. 複雜骸晶多角形		
	c. 羊齒六花	b. 広幅六花		e. 骸晶角柱・交差角板		
4. 複合板状結晶	a. 星六花	a. 角板付六花		f. 骸晶砲彈・四角形		
	b. 樹枝六花	b. 扇付六花		g. 多角形骸晶集合		
	c. 羊齒六花	c. 角板付樹枝		h. 複雜柱面構造		
	a. 角板付六花	d. 扇付樹枝		7. 御幣状結晶 <small>ごへい</small>	a. 御幣	
	b. 扇付六花	e. 枝付角板		b. 砲彈付御幣		
	c. 角板付樹枝	f. 扇付角板		c. 交差角板付御幣		
	d. 扇付樹枝	g. 樹枝付角板		d. 角柱御幣		
	e. 枝付角板	a. 二花		e. 対称御幣		
f. 扇付角板	b. 三花	f. 水柱御幣 <small>つらら ごへい</small>				
5. 分離・多重六花状結晶	c. 四花	d. 十二花		g. 多重菱形御幣 <small>たじょうりょうけい ごへい</small>		
	d. 十二花	e. 十八花		8. 矛先状結晶 <small>ほこさき</small>	a. 矛先	
	e. 十八花	f. 二十四花	b. 砲彈集合付矛先			
	f. 二十四花	a. 立体扇付角板	c. 交差角板付矛先			
6. 立体状結晶	b. 立体樹枝付角板	b. 立体扇付樹枝	d. 多重矛先			
	c. 立体扇付樹枝	d. 立体樹枝付樹枝	9. 鴉状結晶 <small>かもめ</small>	a. 内側角板付鴉		
	d. 立体樹枝付樹枝	a. 放射角板	b. 外側角板付鴉			
	a. 放射角板	b. 放射樹枝	c. 兩側角板付鴉			
7. 放射状結晶	a. 非对称板状	b. 複雜多重角板	d. 内側鋸齒付鴉 <small>うらがわのこぼつきかもめ</small>			
	b. 複雜多重角板		e. 外側鋸齒付鴉 <small>そとがわのこぼつきかもめ</small>			

表 1-1b 固体降水の分類表（グローバル分類¹⁾より）

<p>A 結着・併合</p> <ul style="list-style-type: none"> 1. 柱状結晶の併合 — a. 角柱・砲弾集合等の併合 2. 板状結晶の併合 — a. 角板・樹枝状等の併合 3. 柱状・板状結晶の併合 — a. 柱状・板状・交差角板等の併合 	<p>R 雲粒付結晶群</p> <ul style="list-style-type: none"> 1. 雲粒付結晶 (うんりゅう) <ul style="list-style-type: none"> a. 雲粒付柱状 b. 雲粒付角板 c. 雲粒付六花 d. 雲粒付立体 2. 濃密雲粒付結晶 <ul style="list-style-type: none"> a. 濃密雲粒付柱状 b. 濃密雲粒付角板 c. 濃密雲粒付六花 d. 濃密雲粒付立体 3. 霰状雪 (あられじょうゆき) <ul style="list-style-type: none"> a. 六花霰状雪 (かたまりあられじょうゆき) b. 塊霰状雪 c. 枝付霰状雪 4. 霰 (あられ) <ul style="list-style-type: none"> a. 六花霰 (かたまりあられ) b. 塊霰 (ぼたけ) c. 紡錘霰 (ぼたけ) 	<p>G 初期結晶群</p> <ul style="list-style-type: none"> 1. 柱状氷晶 — a. 角柱氷晶 b. 扁平角柱氷晶 2. 板状氷晶 — a. 角板氷晶 b. 非六角板氷晶 c. 六花氷晶 3. 多面体氷晶 — a. 十四面体氷晶 b. 二十面体氷晶 4. 多結晶氷晶 — a. 角板氷晶集合 b. 複雑交差角板氷晶 c. 不規則氷晶 	<p>I 不定形群</p> <ul style="list-style-type: none"> 1. 氷粒 (ひょうりゅう) — a. 氷粒 2. 雲粒付雪粒 (うんりゅうつぶ) — a. 雲粒付雪粒 3. 結晶破片 — a. 結晶破片 	<p>H 固体の降水の群</p> <ul style="list-style-type: none"> 1. 凍結降水 — a. 凍結雲粒 b. 連鎖凍結雲粒 c. 凍結小雨滴 2. 霰 (みぞれ) — a. 霰 3. 凍雨 (ひょう) — a. 凍雨 4. 雹 (ひょう) — a. 雹
--	---	---	---	---

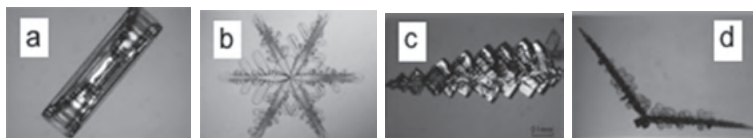


図 1-2 種々の形状をした雪結晶^{1), 2)}。a 骸晶角柱(C3b), b 樹枝六花(P3b), c 御幣(CP7a), d 内側角板付鷗 (かもめ) (CP9a)。拡大率が写真ごと異なるため、a～dの大きさは実際の大きさを反映していない

参考文献

1) 菊地勝弘, 亀田貴雄, 樋口敬二, 山下 晃, 雪結晶の新しい分類表を作る会メンバー, 2012: 中緯度と極域での観測に基づいた新しい雪結晶の分類 -グローバル分類-. 雪氷, **74**(3), 223-241.

2) Kikuchi, K., T. Kameda, K. Higuchi, A. Yamashita and Working group members for new classification of snow crystals, 2013: A global classification of snow crystals, ice crystals, and solid precipitation based on observations from middle latitudes to polar regions. *Atmospheric Research*, **132-133**, 460-472. doi.org/10.1016/j.atmosres. 2013.06.006.

雪の結晶は なぜ六角形なのですか？

question 2



亀田 貴雄

1

雪

雪の結晶とは上空の雲の中で、水蒸気が昇華凝結してできた氷の結晶（氷晶）が成長したものです。おおむね 0.2mm 以上のものを雪結晶、0.2mm 未満のものを氷晶といいます。水蒸気、水、氷はそれぞれ気相、液相、固相ですが、すべて水分子 (H_2O) からできています。

図 2-1 に水分子を模式的に示します。ここでは酸素原子と水素原子の位置を点で示しました。それぞれの原子の周囲に存在している電子の確率的な範囲（ファンデルワールス半径）は酸素原子の周囲で 1.4\AA (\AA はオングストロームで 10^{-10} メートル)、水素原子の周囲で 1.2\AA です。図 2-1 ではその範囲を半円で示しています。図 2-2 は氷結晶での水分子の配列を示します。ここでは大きな白丸で酸素原子、小さな黒丸で水素原子を示しています。氷結晶の特徴は酸素原子が六角形を重ねた形（六方晶系）に配列していることです。

上空の雲の中での過冷却水滴から氷晶への形成過程は高さ 15.2m の実験装置を使って調べられました¹⁾。山下 (1979)¹⁾ によると、初め小さな球形だった過冷却水滴の表面に多数の小さな平面が形成され、その後に六角柱の氷晶が生成されることが報告されました。雪の結晶はこのような小さな六角柱の氷晶が平面的に成長したり、長軸方向に成長して、できています。

Kuroda and Lacmann (1982)²⁾、黒田 (1984)³⁾ は図 2-3 に示すように、小さな六角柱の氷晶の成長速度が平面、長軸の 2 つの方向で異なり、その大小関係が温度によって変わるため、雪結晶が平板になったり（板状結晶という）、六角柱になったり（角柱結晶という）、することを明らかにしました。

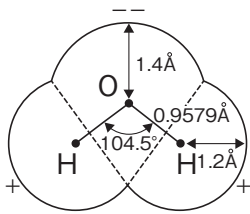


図 2-1 水分子の形状

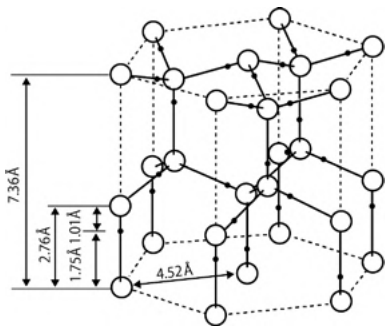


図 2-2 氷結晶の構造 (○ 酸素 ● 水素)

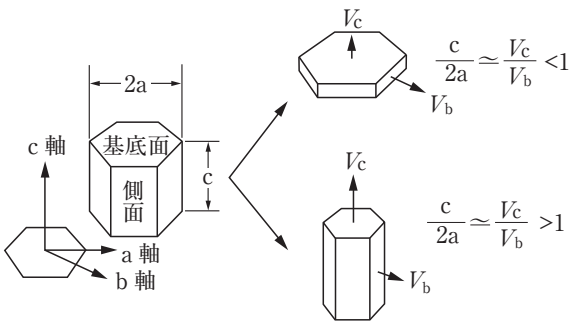


図 2-3 氷晶から雪結晶への成長 (黒田, 1984³⁾, 一部改変)。V_c は c 軸方向への成長速度, V_b は b 軸方向への成長速度を意味する

したがって、雪の結晶がなぜ六角形を基本として、いろいろな形になるかというと、

- ①雪の結晶を構成する氷結晶が六角形を基本としている
- ②六角柱の氷結晶の 2 つの面 (底面と側面) の成長速度の大小関係が温度によって変化して、結晶形が変わるためであると言えます。

参考文献

- 1) 山下 晃, 1979: 自由落下中に成長する人工雪の結晶 - 凍結微水滴からの成長 - . 日本結晶成長学会誌, **6**(3-4), 41-51.
- 2) Kuroda, T. and R. Lacmann, 1982: Growth kinetics of ice from the vapour phase and its growth forms. *J. Crystal Growth*, **56**(1), 189-205.
- 3) 黒田登志雄, 1984: 結晶は生きている - その成長と形の変化のしくみ - . ライブラリ物理の世界, **3**, サイエンス社, 265pp.

氷は透明なのに雪が白く見えるのはなぜ？

question 3

Answer 原田 康浩 亀田 貴雄

1

雪

雪結晶は空気中の水蒸気が昇華凝結してできたものであり、小さな氷のかけらです。したがって、雪結晶を顕微鏡で見ると図 3-1 (a) のように氷と同じように透明に見えます。ところが雪結晶が降り積もった雪になると図 3-1 (b) のように白く見えてしまうのはなぜでしょうか？ それは、透明なガラスを細かく砕くと白く見えることと同じです。ではその違いを詳しく考えてみましょう。

まず太陽の光が板状の氷に入る場合を考えます。そのとき、光は図 3-2 (a) のように氷の上面でわずかに鏡面反射しますがそのほとんどは屈折して平行なまま吸収されずに氷を透過して直進します。このとき氷を下面から見れば透明なガラスを通して見たのと同じように、太陽が歪まずに見えます。上から氷を見る場合、氷の下面に入って氷を透過した光を見ることになります。そのときの光の進み方は図 3-2 (a) の太い矢印の向きを逆にしたものと同じになります。すなわち、上面から氷を見る場合も氷に入った光線は吸収されずに直進するので、氷はガラスのように透明でその下の様子が歪まずに見えます。

次に、太陽の光が雪に入った場合を考えましょう。図 3-2 (b) はそのときの様子を描いた図です。光は氷の場合と同様に雪粒子の表面で反射と屈折をします。しかし雪はたくさんの雪粒子が積み重なってできているので、ひとつの雪粒子で反射、屈折した光は別の雪粒子によっても反射と屈折を繰り返し、複雑な経路で雪の中を進み、その一部はふたたび雪の表面からさまざまな方向で出てきます。このような光を「多重散乱した光」と呼びます。雪粒子ひとつひとつは透明なので、このような多重

散乱してもほとんど吸収されることなく、そのままの強さで出てきます。しかし、これらの光線の進む向きや出発点は多重散乱のためにバラバラになっているため、雪から戻ってきた光を見てもすりガラスを見たときと同じようにその下側に何かあるのかはわかりません。このように雪に入った可視光線はほとんど弱くならず、多重散乱によっていろいろな場所からさまざまな方向で出てくるため、どの方向から見ても波長の違いがなく全体が明るく輝いて見えます。このときに見える光の色は光の三原色を重ねると白く見えるのと同じ原理で白く見えます。



(a) 扇六花の雪結晶
(撮影：藤野丈志)



(b) 摩周湖畔の積雪
(撮影：原田康浩)

図 3-1 透明に見える雪の結晶 (a) と白く見える雪 (b)

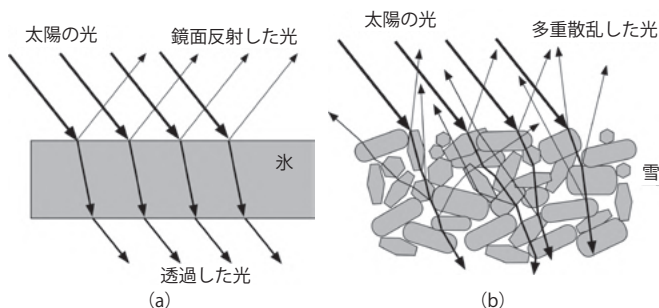


図 3-2 氷と雪での太陽光の進み方の違い：(a) 氷の場合，(b) 雪の場合