

どこからが樹氷で どこからがアイスモンスターなのか

山形大学学術研究院 柳澤文孝

1. はじめに

地球温暖化によって蔵王のアイスモンスター（樹氷）が衰退（下限高度の上昇・分布域の縮小・期間の短縮・スリム化）しているといわれています。柳澤（2012）は1940年代から現在までの蔵王のアイスモンスター（樹氷）の変遷地図を作製しました。蔵王のアイスモンスター（樹氷）の下限高度は、1940年代は1300–1400m、1970年代は1500m、1990年代は1550m、2010年は1600mとなっております。

その後、他の地域のアイスモンスター（樹氷）はどうなのか、今後はどうなるのか、桜の开花の際の標準木のような物はあるのか、どこまでが樹氷（エビノシッポ）でどこからがアイスモンスター（樹氷）なのかなどの問い合わせをいただきました。

「樹氷」という言葉は、明治6年の万国気象会議で定められた用語（Silver Thaw, Glazed Frost）を明治10年頃に日本語に訳したものです。その後、気象学だけでなく雪氷学・山岳をはじめ多方面で使われています。例えば、北大の寮歌、詩歌の季語として使われています。また、鉄鋼では樹氷状構造、眼科では樹氷状として使われることがあります。

雪氷学や気象学では「樹氷」について定義していますが、内容が異なっています。また、山岳では雪氷学と気象学の定義を混在して使われています。

「アイスモンスター」の用語は雪氷学にしかありませんので、ここでは、雪氷学の定義に従って、どこからが樹氷でどこからがアイスモンスターなのかについて考えてみたいと思います。

2. アイスモンスターの成因について

まず、アイスモンスター・樹氷がどの様にしてできるのかが明らかになっていないといけません。

アイスモンスターの成因については、中谷宇吉郎先生の過冷却水滴説（水が氷った）と安齋徹先生の雪説（雪が氷となった）があり、昭和10年代から論争が続けられてきました。昭和11年には田邊和雄先生により複合体説（雪と過冷却水滴が複合して氷となった）も出されていました。

1960年代に芝浦工業大学の小笠原和夫教授を中心に「蔵王の樹氷（アイスモンスター）の総合研究」が行われ、樹氷の成長過程の観測や樹氷を切断して中の構造を観察するなどが行われました。この結果、樹氷（アイスモンスター）が雪と過冷却水滴の複合体であり、焼結によって雪と氷が分かちがたく一体化して氷となった物であることが明らかとされました。それに続き、1970年代には山形大学理学部物理学科の阿部正二郎教授のご研究によって生成条件が求められています。

以上を踏まえ、2014年に日本雪氷学会編で出版された「新版・雪氷辞典」においてアイスモンスターや樹氷は以下のように説明されています。

○着氷 Ice Accretion

空気中の水が物体に付着してできる氷およびその現象をいう。大気中の水蒸気が樹枝などの物体に昇華してできるものを樹霜（霧氷）という。降水や霧が過冷却水滴となって物体に付着し凍結する場合には、その構造によって雨氷、粗氷、樹氷に分類される。

○着雪 Snow Accretion

雪が物体に付着する現象、あるいは付着した雪をいう。

○焼結 Sintering

互いに接触している固体粒子が融点より低い温度で固結する現象。

注：氷と雪で書き直すと以下のようになる：互いに接触している雪や氷が融点（0℃）より少し低い温度で固結する現象。

○昇華 Sublimation

物体が液体を経ずに固体から気体へ気化、または気体から固体へ固化する現象。なお、気化を昇華蒸発、固化を昇華凝結という。

○樹霜 Air Hoar

空気中の水蒸気が樹木や電線などに、霜の結晶として昇華凝結したもの。樹脂状、針状、柱状の結晶をなしている。気温が低く、風が弱い夜から早朝にかけて起こりやすい。

○霧氷

(1) Air Hoar 樹木や地方の表面に水蒸気が昇華してできた氷。樹霜。

(2) Rime 過冷却した霧や雲粒が樹木や地物に付着し凍結した氷。樹氷・アイスモンスター。

○樹氷（エビノシッポ）Rime

風で運搬されてきた雲粒などの過冷却水滴が樹木などの物体に衝突して凍結したもの。雲粒は次から次へと無数に衝突してくるので、樹木などの風上側に粒子構造の氷が成長する。このようにしてできる着氷は、気温、風速、雲（霧）水量、雲粒の大きさ、物体の熱伝導率などによって形態が異なり、樹氷、粗氷、雨氷の

三つに大別されている。樹氷は形がエビの尻尾状で、空隙が多く、不透明で白く、たたくと容易に壊れる。気温が低く、雲水量が小さく、風が比較的弱いときにできる。

○アイスモンスター・スノーモンスター Ice Monster・Snow Monster

亜高山地帯に植生しているアオモリトドマツが着氷と雪片でおおわれて巨大な雪の塊に成長したものをいう。……着雪も加わっている点で、過冷却水滴による着氷の一種である樹氷とは異なる。……モンスターの形成に必要な環境条件は、平均気温-10~-15℃、風速10~20m/sである。

以上をまとめると次の表のようになります。即ち、空気中の水分が物体に付着して氷となる現象が着氷で、水分が水蒸気の場合は霧氷、過冷却水滴の場合は樹氷です。また、過冷却水滴だけでできている場合がエビノシッポ（樹氷）で、過冷却水滴と着雪が焼結してできている場合がアイスモンスター（樹氷）です。

大きさが何センチ以上とか、塊の数や、存在している期間などは決まっておきませんので、アイスモンスター（樹氷）については人によって認識が異なります。例えば、樹木の一部がブロック状となっている場合、樹木の大部分がブロック状となっている場合、樹木全体が1個~数個の塊となっている場合、樹木全体が1つの塊となり風上側に淀線ができている場合などです。

学術的には樹木の一部~大部分がブロック状となっている場合からがアイスモンスターの範疇と考えられます。

新版・雪氷辞典（日本雪氷学会）

現象	名称	通称	英語名	事象	備考
着氷	霧氷	—	Air Hore	空気中の水蒸気が樹木などに昇華	—
	樹氷	エビノシippo	Rime	風で運ばれてきた過冷却水滴が樹木などに衝突して凍結した着氷	—
		アイスモンスター	Ice Monster	過冷却水滴が凍結した着氷に着雪し、両者が焼結して一体化	樹木の一部～大部分 複数のブロック 樹木の全体 1～数個 樹木の全体（淀線） 1個

着氷	Ice Accretion	空気中の水分が物体に付着して氷となる（水蒸気は霧氷、過冷却水滴は樹氷）
着雪	Snow Accretion	雪が物体に付着する
焼結	Sintering	接触している雪や氷が融点（0℃）より少し低い温度で固結する
昇華	Sublimation	気体から液体を経ないで固体へ固化する現象

（参考）気象学における樹氷の定義

気象観測の手引き（気象庁）

霧氷	樹木や地物に白色ないし半透明の氷層が付着したもの。	樹霜	おもに水蒸気の昇華によって生じた氷の結晶からなり、針状・板状・コップ状などの結晶形が明らかに認められることが多いが、凍った霧粒が混じってついていることもある。物体の風上側に成長しやすい。
		樹氷	おもに過冷却した霧粒又は雲粒（山岳域）が、地物に吹きつけられてできた白色不透明のもろい氷で、うすい針状、又は尾びれ状の塊が集まってできている。側面に樹霜ができていることもある。弱い風の下では地物の全方向に付着する。
		粗氷	樹氷と同じようにしてできる。半透明か又は透明に近い氷の塊で、霧粒が大きく、気温が-10～-2℃の間でできやすい。また風上方向に発達する。
雨水	均質で透明な氷層が地物に付着した現象。過冷却した霧雨又は雨（着氷性の霧雨又は雨）が0℃以下又は0℃よりわずかに高い温度（過冷却でない場合は0℃以下）の地面や地物に当たって凍結したもの。		

着氷性の雨・霧雨	0℃より低温の雨・霧雨である。
過冷却の雨・霧雨	地面や地物又は飛行中の航空機に当たって着氷（水と0℃の氷の混在）を起こす。
雲	微細な氷の粒や水滴が集まり、空中に浮遊しているもので、地表面に接する場合には雲といわず霧という。
霧	ごく小さな水滴が大気中に浮遊する現象。

3. エビノシッポからアイスモンスターまで

エビノシッポからアイスモンスターまでを見ていくことにします。

* 着氷 Ice Accretion

樹木やロープ、杭などに着氷ができてはじめました。

Supercooled water droplets start to icing on needle-like leaves of *Abies Mariesii* and ropes and piles.



* 樹氷（エビノシッポ） tree covered with rime

過冷却水滴がアオモリトドマツの針状の葉に着氷します。アオモリトドマツのほとんどの枝葉が着氷と着雪で覆われますが、木の形はそのまま見ることができます。

Supercooled water droplets begin to icing on the needle leaves of *Abies Mariesii*. Even after most branches and leaves of trees are covered with icing and snow cover, we can see the shape of the tree as it is.



*アイスモンスター（開始） tree covered with ice blocks (Ice Monster start, mini monster)

アオモリトドマツへの着氷と着雪が継続しています。着氷と着雪の焼結によってできた氷塊がアオモリトドマツの枝葉にできています。

Ice and snow are accreted continuously on *Abies Mariesii*. Sintering of ice and snow begins and ice blocks are formed on branches and leaves of the tree.



*アイスモンスター（発達中） Ice Monster in developing/progressive

アオモリトドマツの大部分に着氷と着雪の焼結による氷塊ができています。氷塊は木の全体を覆っておらず、枝葉が見えるところもあります。

As a result of sintering of ice and snow, ice blocks are formed in most parts of the tree. Since trees are not completely covered with ice blocks, branches and leaves of the tree can be seen.



*アイスモンスター（標準） Ice Monster in standard

北西の季節風がアオモリトドマツの反対側まで回り込みことで、アオモリトドマツ全体が着氷と着雪の焼結によってできた氷で覆われます。

As the northwest winter monsoon winds wrap around to the other side of the tree, the whole tree is covered with ice formed by sintering of snow and ice.



*アイスモンスター（完成） Ice Monster in completed (Final)

アオモリトドマツを覆う氷が巨大化すると、風の淀みによって、風上側に窪んだ線状の構造（淀線）が形成されます。

When the ice covering the trees grows huge, a recessed structural line (stagnation line) is formed on windward side due to wind stagnation.



4. 山麓から山頂まで

蔵王の樹氷は山麓から山頂まで大きく変化します。おおよそ、下から霧氷・樹氷（エビノシッコ）・樹氷（アイスモンスター）です。しかし、気象条件によって成長と衰退が繰り返されており、霧氷と樹氷（エビノシッコ）、樹氷（エビノシッコ）と樹氷（アイスモンスター）の境界となる高度も

時間毎に変化します。また、同じ高度でも風の通り道か否かで樹氷の成長の度合いは異なります。ここでは、安部博之先生が撮影された写真から高さによる変化をご紹介します。標高1550mを越えたあたりから樹氷となっています。



