

アイスモンスター

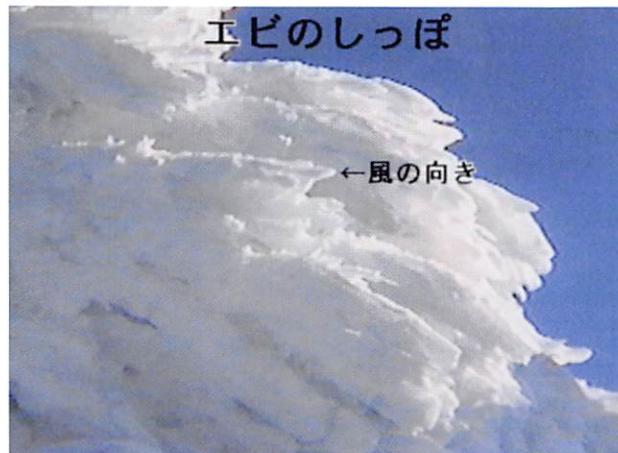
樹氷



I C E M O N S T E R

「樹氷」：「ライム」と「アイスマンスター」

(1) 樹氷（ライム）：風で運搬されてきた過冷却水滴が樹木などに衝突して凍結したもの。明治6年の万国気象会議で定められた用語（Silver Thaw, Glazed Frost）を元に、明治10年頃に日本語化されたもので「V」という大気現象。



マークが与えられています。日本（北海道から屋久島まで）はもちろん世界中に存在しています。風に向かって成長する形から「エビのしっぽ」と呼ばれています。



(2) 樹氷（アイスマンスター）：アオモリトドマツなどの樹木が着氷と雪片に覆われて巨大な塊となったもの。

大正3年（1914）2月15日、蔵王高湯温泉から蔵王山に冬期初登頂した神山峰吉らによって発見されました。

大正10年1月、慶應大学山岳部が宮城県側から山形県側に冬期初踏破した際の紀行文と写真が「登高行」に掲載されて「樹氷」が初めて紹介さ

れました。大正11-12年宮城県の賽の磧で冬期合宿を始めた旧制第二高等学校や東北帝国大学の山岳部の生徒達によって「樹氷」とよばれるようになり、全国的に有名になっていきます。アイスマンスターが「樹氷」とよばれたのは、樹木に付着した「エビのしっぽ」を樹氷と呼んでいたことから、アイスマンスターを「エビのしっぽ」が樹木全体を覆ったものと誤解したためです。



「樹氷」の定義

「樹氷」と言う言葉は、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年頃に日本語化したものです。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。

雪氷学と気象学では「樹氷」を以下のように定義していますが、内容が異なっています。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。

「アイスマンスター」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行くことにします。

現象	名称	通称	英語名	事象	備考
着氷 樹氷	霧氷	—	Air Hore	空気中の水蒸気が樹木などに昇華	—
	エビノシッポ	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	—
				過冷却水滴が凍結した着氷に着雪	
	アイスマンスター	Ice Monster		過冷却水滴が凍結した着氷に着雪し、者が焼結して一体化	両 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°C）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

樹氷の定義（雪氷学）

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。側面に樹霜ができることがある。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°C 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°C以下又は0°Cよりわずかに高い温度（過冷却でない場合は0°C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°C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°C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ゆる霧という
霧	ごく小さな水滴が大気中に浮遊する現象。

樹氷の定義（気象学）

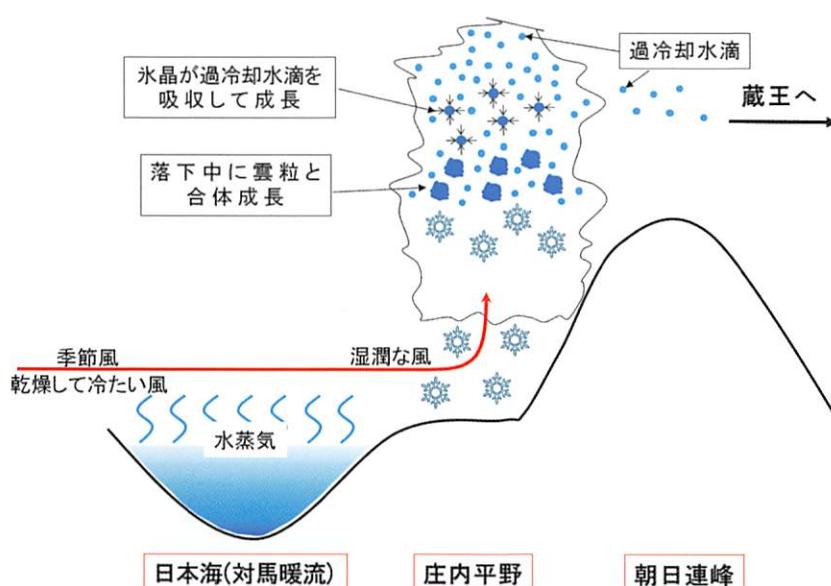
樹氷のできかた

樹氷のできかた（1）

冷たく乾いたシベリアからの北西の季節風が日本海を渡る際に、対馬暖流から多量の水分を供給されます。季節風が朝日連峰にぶつかった際に雪雲が形成されます。雪雲の上部には氷点下でも氷らない過冷却水滴ができます。過冷却水滴は海塩などを核として氷晶となりますますが、周辺にある過冷却水滴を吸収して成長します。氷晶は落下中に

雲粒と合体し、雪として地上に落ちていきます。

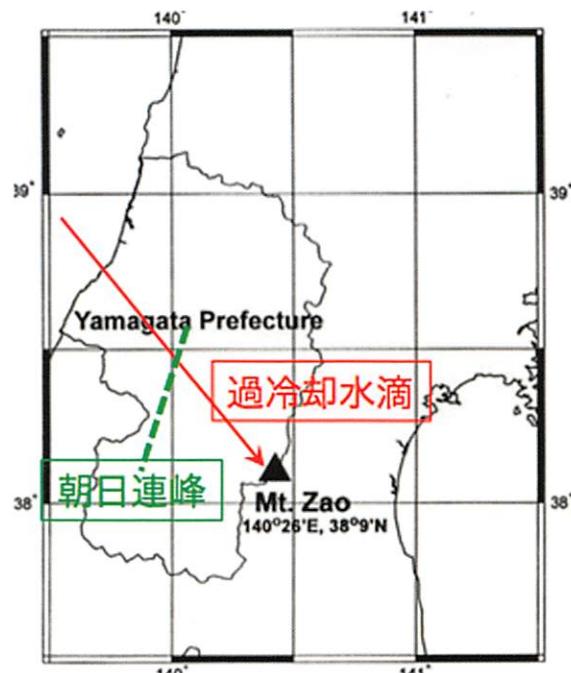
雪雲内の水分の大部分は降雪として取り除かれます。しかし、降雪に際して雪の核となるべき海塩粒子が消費されてしまうことから、水分の一部は降雪となることができず過冷却水滴として残ります。過冷却水滴を含んだ季節風は朝日連峰を越え、山形盆地を通過して、蔵王へ向かいます。



原図 後藤健太

樹氷のできかた（2）

過冷却水滴を含んだ季節風は山形盆地を越え、蔵王へ向かいます。風速は10–20mで、朝日から蔵王まで40–50kmですので1–2時間で蔵王に到達することになります。



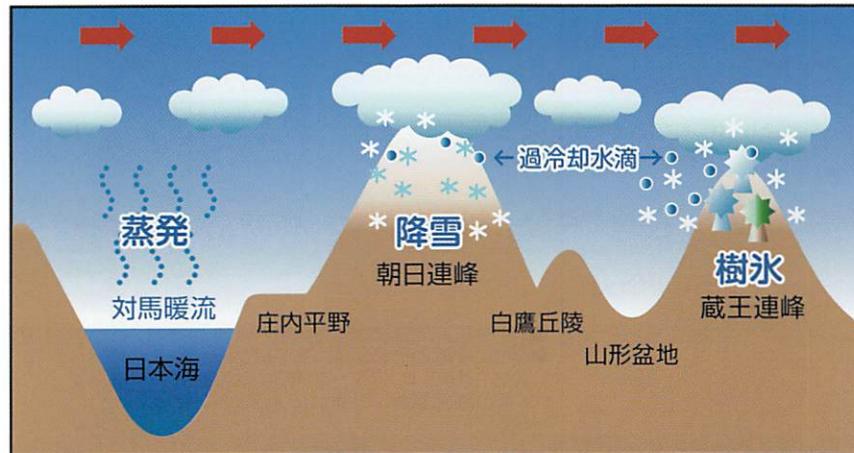
原図 後藤健太

樹氷のできかた（3）

蔵王に到達した季節風は山頂付近に自生しているアオモリトドマツに衝突して着氷となります。蔵王山頂には雪雲があり、雪雲内で着氷と雪

片がアオモリトドマツに繰り返し付着することで成長します。更に、着氷と雪片が一体化する焼結を経て樹氷（アイスマンスター）となります。

- ① 着氷 雪雲のなかの「過冷却水滴」が枝や葉にぶつかり凍りつく
- ② 着雪 着氷のすき間に多くの雪がとり込まれる
- ③ 焼結 0℃付近の雪は、互いにくっついて固く絞まる



*樹氷（アイスマンスター）ができる条件

樹氷（アイスマンスター）ができるためには以下のようないくつかの条件が必要です。

- (1) 常緑の針葉樹の存在（アオモリトドマツ）
- (2) 北西～西の適度な強風（10～15m/sec）
- (3) 多量の過冷却水滴（平均雲量0.9）
- (4) 適度な低温（-10～-15°C）
- (5) 適度な積雪量（2～3m）

*樹氷（アイスマンスター）の分布

樹氷（アイスマンスター）は東北地方の一部の山岳地帯（八甲田山、八幡平と森吉山、蔵王山、吾妻山）でしか見ることができません。また、いずれも日本海から50～70km内陸にあります。上に示した条件を満たす場所が限られるためです。

なお、八甲田（1300m）、八幡平と森吉（1400m）、蔵王（1550～1600m）、吾妻（1700m）と南に行くほど高地で生成しています。



年号	「樹氷」の名前の歴史	アイスマンスターの歴史	
		宮城県側	山形県側
明治 6年	●万国気象會議で英語名「Silver Thaw」「Glazed Frost」が決まる		
明治 8年	●気象観測開始(明治8年はJoyner、明治9年から日本人の傳修生が参加、明治10年Joyner帰国)		
明治 9～10年	●「Silver Thaw」が「樹氷」、「Glazed Frost」が「凝霜」と和訳される		
明治11年	●1月 国立公文書館で見つかった「樹氷」が記述された最も古い気象観測報告		
明治19年	●気象観測法(第1版)に「樹氷」「凝霜」が掲載される		
明治20年	●中央気象台が開設され、全国的な気象観測が始まる		
明治21年	●気象用語(含樹氷)の全国的統一をはかるため全国の測候所長らを集めた第一回気象観測協議会を開催		
明治25年	●和訳に際し「樹氷」と「凝霜」が取り違えられていたことが発覚		
明治45年	●北海道大学寮歌として作られた「都ぞ弥生は」の中で「樹氷咲く 壮麗の地をここに見よ」と歌われた		
大正 3年			●2月15日 山形師範学校の神山峯吉らによる冬季藏王初登頂の際にアイスマンスターが認識され、「雪の坊」「雪瘤」とよばれるようになる
大正 4年	●気象観測法(第2版)で「樹氷」が「霧氷」に「凝霜」が「雨水」に改名される		
大正10年 大正11～12年		●1月 賽の磯で慶應大学が初スキーを行い、冬季に初めて宮城県側から山形県側へ踏破する ●旧制二高・東北帝大山岳部が賽の磯で冬季合宿 アイスマンスターを「樹氷」の大きくなつた物と誤解して「樹氷」とよぶようになる	
大正12年	●関東大震災で気象観測法(第2版)の版が焼失	●蔵王(賽の磯)スキー場開設	
大正13年 大正14年 昭和 2年		●昭和2年の官報でスキーの熟達者に好まれるスキー場として蔵王(賽の磯)スキー場が紹介された	●蔵王温泉スキー場開設
昭和 3年			●蔵王中腹に「コーポルトフュッテ」建設。昭和3年12月30日 コーポルトブーフに九州大学医学部の桜井國南男氏が「積雪に埋もれ樹氷にとりかこまれたフュッテの姿は何と云う美しさだろう」と記述
昭和 4年	●気象観測法(第2版 新版)で「霧氷」の下に「樹霜・樹氷・粗氷」の三種が作られる	●鉄道省の日本案内記・東北編に「蔵王スキー場が仙台の学生や東京の研究者でぎわっている。樹氷はスキー家でないと見ることができない」と記載(記載内容は昭和元年～2年ごろのもの) ●峨々温泉に蔵王案内人	●2月12日 安齋徹教授一行が樹氷を撮影
昭和 5年 昭和 6年		●仙台鉄道局「陸奥曲」を出版、樹氷の写真(昭和4年に安齋徹教授撮影)の海外初紹介	●高湯温泉で冬季の旅客用馬そり運行開始 ●高湯温泉に蔵王案内人
昭和 8年		●日本山岳会主催で冬季写真展が開催された(8点が蔵王の樹氷の写真)。応募の中から24点が英國山岳会に寄贈された(2点が蔵王の樹氷、撮影者は長澤壽三(利彦)氏と角田吉夫氏)。	
昭和10年			●塚本閑監督による「MOUNT ZAO」完成、昭和11～12年の欧米の映画祭で受賞
昭和11年			●2月24日から3月3日まで蔵王温泉スキー場で「日本スキー発達史」が撮影されるが未編集でお蔵入りとなる(監督:円谷英二)
昭和18年 昭和19～23年 昭和47年		●「蔵王小屋」建設 ●「蔵王小屋」山頂に移転 ●地蔵山山頂に中央気象台の気象観測所建設 ●安齋徹教授と慶松光雄教授による「樹氷」名面論争勃発、日本山岳会は慶松教授に軍配を上げる	
平成19年		●結城亮一氏の「翠松の丘」によって「蔵王一白銀の乱舞」が未完成だったことが明らかとなるとともに、同氏の尽力で山形国際ドキュメンタリー映画祭で塚本閑監督の「Mount Zao(蔵王山)」が上映される	
平成26年		●2月21～24日 樹氷国体開催	

「アイスモンスター」と「樹氷」の歴史

* 「樹氷」と「アイスモンスター」の歴史

「樹氷」という言葉は、明治6年（1873年）の万国気象会議で定められた用語（Silver Thaw, Glazed Frost）を元に、明治10年頃に日本語に訳されたものです。一方、蔵王の樹氷（アイスモンスター）は大正3年（1914年）2月15日、蔵王高湯温泉から蔵王山に冬期初登頂した神山峰吉らによって発見されました。なお、以前からマタギの間では「雪の坊」「雪坊主」「雪瘤」「雪姫」などとよばれていたようです。

大正10年1月、慶應大学山岳部が宮城県側から山形県側に冬期初踏破した際の紀行文と写真が「登高行」に掲載され、「樹氷」というものがあるということが認識されるようになりました。

大正11～12年宮城県の賽の磧で冬期合宿を始めた旧制第二高等学校や東北帝国大学の山岳部の生徒達によってアイスモンスターが「樹氷」とよばれるようになり、この名称が定着し全国的に有名になっていきます。アイスモンスターが「樹氷」とよばれたのは、樹木に付着した「エビのしっぽ」を樹氷と呼んでいたことから、アイスモンスターを「エビのしっぽ」が樹木全体を覆ったものと誤解したためです。

大正13年に賽の磧スキー場が開設され、昭和2年には熟達者向けとして官報でも紹介されています。

山形県側の樹氷は、昭和4年2月に安齋徹教授によって撮影された写真、昭和6年の山形高等学校山岳部部長三浦博雅氏によるアルピニズム誌への紀行文、昭和6年の仙台鉄道局による「陸奥曲（みちのくぶり）」、昭和8年の日本山岳会による冬季写真展、昭和10年の塚本閻治監督による「MOUNT ZAO」、昭和11年の円谷英二監督による「日本スキー発達史（未公開）」などをへて全国的に有名になって行きました。

* 樹氷の研究

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（雪が氷になった）があり、昭和はじめ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になった）も出されていましたが、論議されることはありませんでした。

昭和14年に蔵王小屋で理化学研究所の黒田博士が着氷の実験を行いました。ついで、昭和18年～20年には蔵王山頂で北大の中谷宇吉郎教授を研究代表者、東北帝国大学の加藤愛雄助教授が研究分担者として着氷の研究が行われ、過冷却水滴説に統合されました。

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複合体であることが明らかとされました。

1970年代には理学部物理学科の阿部正二朗教授・矢野勝俊教授のご研究によって生成条件が詳しく求められています。

戦時下における飛行機着氷に関する研究

- (1) 昭和16年、蔵王山など航路上の山頂観測所の開設が決定されました。蔵王における気象観測は、当初、蔵王小屋を接収した陸軍気象部が担当していました。その後、山形測候所が職員の訓練のため、蔵王小屋に蔵王山臨時気象観測所を開設して予備観測業務を開始しました。昭和18年、蔵王山山頂に測候所が竣工したことから、業務は蔵王山測候所に移行しました。蔵王山測候所は、GHQの許可を得て、昭和22年まで（昭和21年10月から昭和22年6月まで一時中断）観測を行っていました（山形の気象百年）。
- (2) 昭和15年、陸軍気象部により旧制山形高等学校の安齋徹教授に蔵王の樹氷に関する問い合わせと、着氷研究のためにコーポルトヒュッテ借用の依頼がありました。しかし、コーポルトヒュッテが手狭であるため、蔵王小屋で着氷の研究を行うことになりました（安齋徹 1950）。
- (3) 昭和16-17年、陸軍気象部により蔵王小屋に小型風洞と模型翼が持ち込まれて飛行機に対する着氷の研究が行われました（陸軍気象史）。
- (4) 昭和17年、蔵王小屋に北大低温研の職員が一時的に滞在していたとの記述がみつかりました（山形の気象百年）。研究情報の収集や今後の研究の打ち合わせのために滞在していましたと推定されます。
- (5) 昭和18年、文部省の緊急科学研究費・重要研究課題「飛行機凍結防止に関する研究（研究代表者：中谷宇吉郎北大教授、研究分担者 中村左衛門太郎東北大教授）」が行われました。また、予算が決まった後、研究分担者を加藤助教授に交代しています。なお、昭和18年12月25日から28日かけて行われた第一回実験後、加藤助教授は記者会見で「蔵王の樹氷は着氷の研究に無限の素材を提供している」と語っていました（春山行夫 1944）。

戦時下における飛行機着氷に関する研究（柳澤2017）

昭和年度	日本の動き	富士山・岩手山・伊吹山 中央気象台 氷結防止研究会 海軍航空技術委託	蔵王山頂				蔵王山頂
			二セコアンヌブリ 中谷宇吉郎 海軍委託	蔵王（蔵王小屋:陸軍16年接收・19年春撤収）	理化学研究所	測候所 気象観測	
13	国家総動員法						
14	文部省 科学研究費交付金						
15							
16							
17	技術院設置	着氷実験（風洞・模型機）	16年北大低温科学研究所設置・16-17年ニセコで予備研究	樹氷について山高に問い合わせ	着氷研究（黒田正夫）		
18	科学技術勲員・研究者登録制度（技術院や陸軍による調査）	ニセコ山頂着氷研究所竣工	蔵王小屋で着氷実験（小型風洞と模型翼）、17年冬北大低温研職員滞在	測候所設置決定 試験準備	蔵王山臨時気象観測所開設（山形測候所職員の訓練）		
19	科学技術の戦力化に関する閣議決定（陸海軍研究の統合）	着氷実験（実機）	着氷実験（予備研究・測候所でも実施）、加藤助教授記者発表 #2			山頂へ移転	昭和18年9月、蔵王山測候所竣工、気象観測（陸軍委託項目あり）
20	終戦・資料等の破棄命令・GHQへ報告命令	実機撤収・資料破棄せず	蔵王小屋を買収し測候所隣に移築（蔵王高層気象着氷対策研究所）・本研究 #3 *5	実証試験（蔵王小屋・コーポルトヒュッテ・山の家）#5 *6			GHQ気象観測継続を許可
21			機材撤収・資料を破棄（一部は中谷研黒岩大助助手へ）#4	GHQへ報告			蔵王山測候所、気象観測
22							
戦後	富士山・岩手山・伊吹山の研究を論文化	ニセコ関係の研究を論文化	30年の報告に本研究の写真 #7		気象庁で実用化へ		#7

*1 飛行機の凍結防止に関する研究

*2 18年度 研究代表者:中谷宇吉郎北大教授、研究分担者 中村左衛門太郎東北大教授（のちに加藤愛雄東北大助教授に差し替え）

*3 19年度 研究代表者:中谷宇吉郎北大教授、研究分担者:加藤愛雄東北大助教授ほか

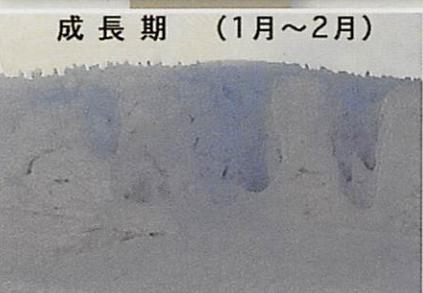
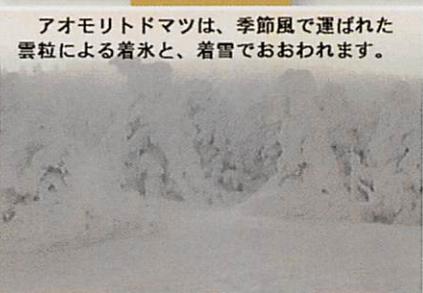
*4 20年度 研究代表者:中谷宇吉郎北大教授、研究分担者:藤原咲平中央気象台台長・加藤愛雄東北大助教授

*5 堀修一助勤（旧制）第二高等学校の生徒が手伝い

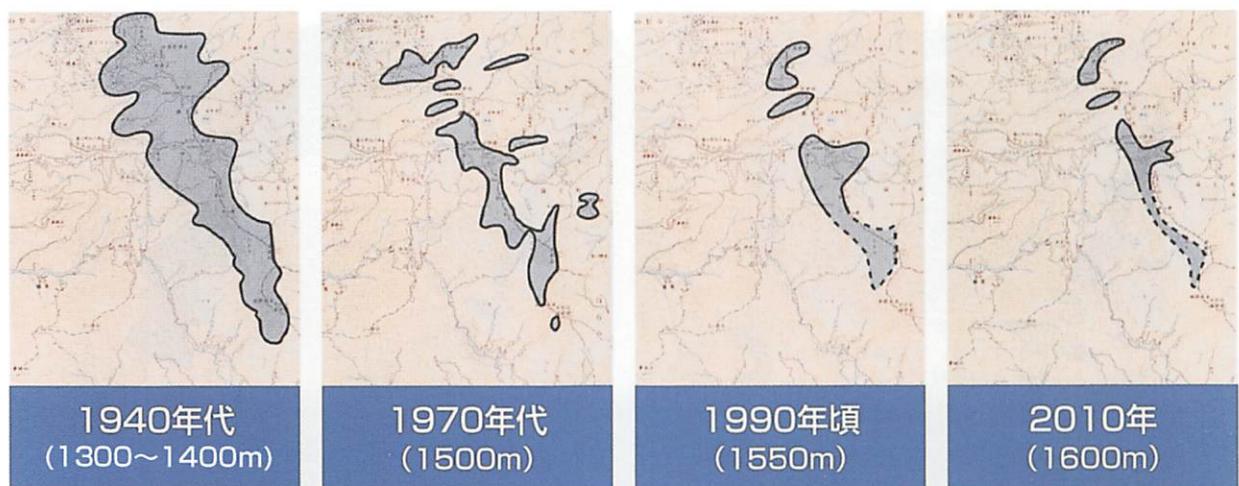
*6 蔵王小屋:山大蔵王山寮付近、コーポルトヒュッテ:トニー・ザイラー碑付近、山の家:トコ沼湖畔

*7 蔵王山測候所、蔵王高層気象着氷対策研究所の建物は40年頃取り壊された

樹氷（アイスマンスター）の一生（1993－94年頃） (安部博之先生提供)



地球温暖化による蔵王の樹氷の分布域の縮小



樹氷ができる12月から3月まで4ヶ月間の山形市の平均気温の変化
100年間でおよそ2度前後の温度上昇が認められる。

樹氷ができる標高や見ごろ期間は年によって変化しますが、全体の傾向として、樹氷の分布範囲が縮小しています。

最近100年間の間で分布範囲が最も広かったのは1940年前後で、樹氷は標高1300m以上の場所で観測でき、見ごろ期間は12月後半から4月初めでした。最も狭かったのは2010年で、標高1600m以上でないと観測できず、見ごろの期間は1月後半から2月前半でした。1940年前後と比べると、樹氷の分布範囲はおよそ4分の1となっています。

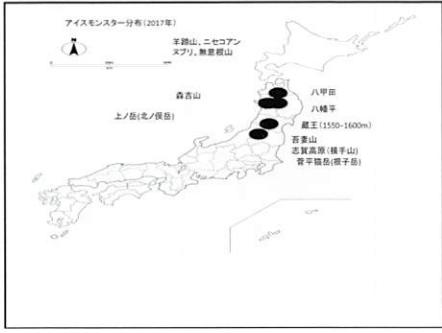
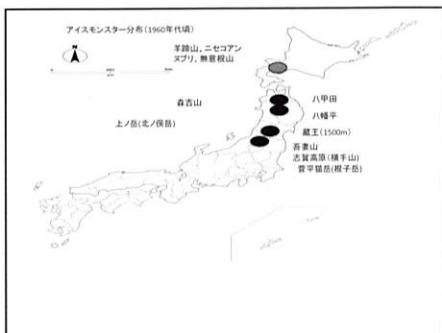
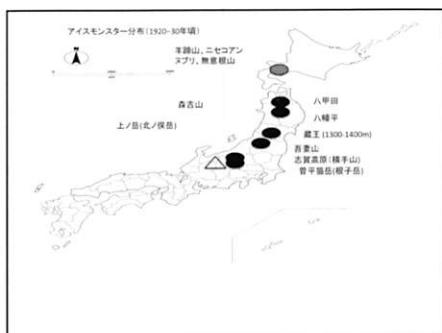
この間、山形市の冬季の平均気温は2度前後上がっており、気温の上昇に伴って分布範囲が縮小したと推定されます。

今後も気温の上昇が続ければ、蔵王で樹氷が見られなくなる年が出てきたり、今よりも細身の樹氷になる可能性が考えられます。

アイスマンスター（樹氷）の変遷地図（全国版）

1950年代初めまでは北海道から長野（志賀高原・菅平）まで、1960年代に入ると北海道から山形まで、1970年代以降は東北地方の一部の山岳地帯（八甲田・八幡平・蔵王・西吾妻）となったと考えられます。現在のアイスマンスター（樹氷）

の下限高度は、八甲田1300m、八幡平1400m、蔵王1550–1600m、西吾妻1700mです。なお、2011年の厳冬の際は志賀高原・菅平の2200m以上でアイスマンスター（樹氷）が見られました。



2011年2月1日から7日にかけて蔵王に飛来した汚染物質

アジア諸国では工業化が進みそれに伴って大気汚染物質の排出量が増加している。山形県蔵王の標高1600m以上では樹氷が見られる。この地点はアジア大陸から北西の季節風が卓越する地理的位置にあり、大気汚染物質が飛来している可能が考えられる。

2010年11月から2011年3月にかけて蔵王の樹氷を採取し分析した。また、山形県内で観測されている大気環境データとの比較や衛星画像との照合を行った。

西高東低の冬型がくずれた後に華北平原に進出してきた高気圧の元に大気汚染物質が蓄積した。その後、大気汚染物質は高気圧の移動に伴って朝鮮半島を経由して日本を横断したことが、明らかとなった。

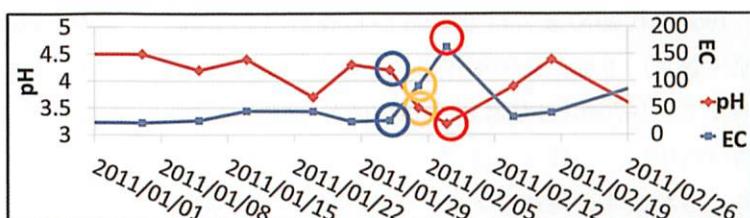


図1. pHと電気伝導度(EC)の変動

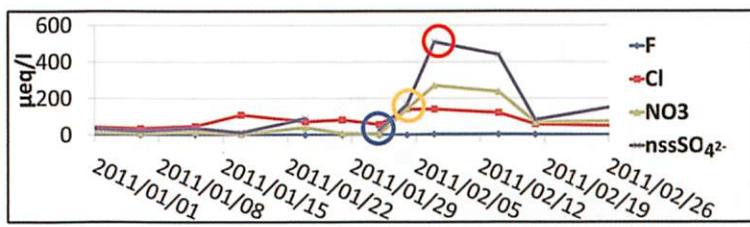


図2. 陰イオンの変動

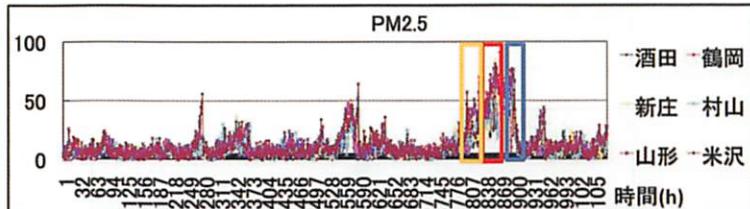


図3. 山形県内における浮遊性粒子(PM2.5)の変動



2011年2月1日

冬型の気圧配置が弱まりつつあり、日本付近に大気汚染物質は認められない。

華北平原には高気圧が移動しており、高気圧の下で大気汚染物質(黄色いところ)が蓄積されつつある。



2011年2月4日

冬型の気圧配置は終息した。華北平原に蓄積した大気汚染物質は高気圧の移動に伴って渤海・黄海・朝鮮半島・日本海を経て日本へ流出し始めている。大気汚染物質は東北地方の山岳地帯にある雪雲に流入しているように見えることから、汚染物質は蔵王の樹氷へ混入したと推定される。

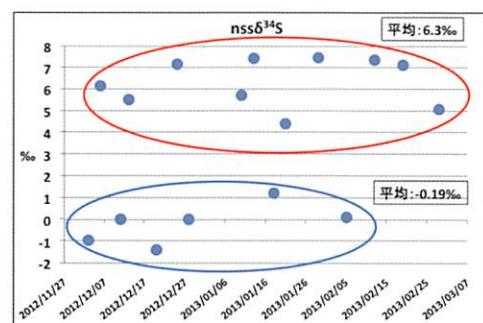


2011年2月6日

華北平原から流出している大気汚染物質は日本上空を通過している。大気汚染物質は雪雲に継続的に流入しているように見えることから、汚染物質は蔵王の樹氷へ連続して混入して高濃度の汚染となったと推定される。

アジア地域から越境飛来する大気汚染物質

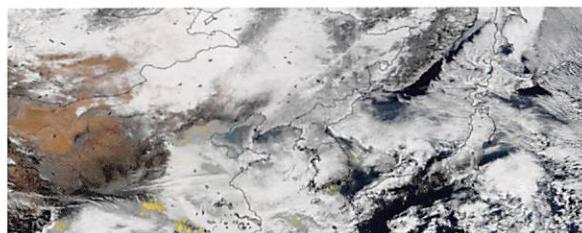
樹氷は酸性化している。主原因は硫酸である。2012–2013年の樹氷に含まれている非海塩性硫酸イオンの硫黄同位体比を測定した。冬型以外では+6パーミル前後と、冬型では0パーミル前後であった。なお、日本国内で発生する物は-2パーミル前後である。



1. 冬型の場合



汚れは顕著ではない。シベリア・中国東北部から飛来している。

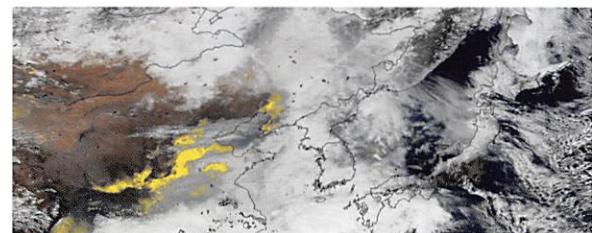


2013年1月16日の人工衛星画像

2. 冬型でない場合



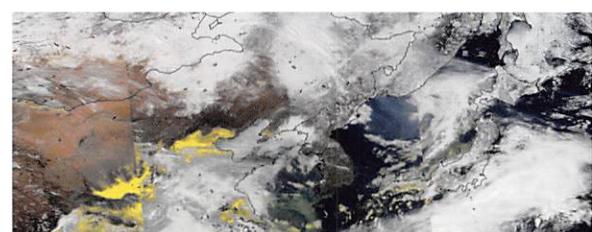
汚れが顕著である。華北平原から飛来している。



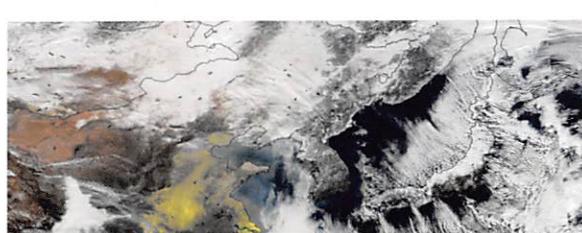
2013年2月26日の人工衛星画像



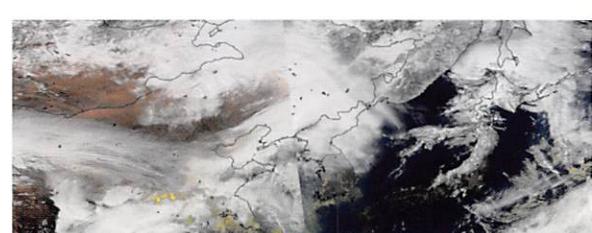
2013年1月17日の人工衛星画像



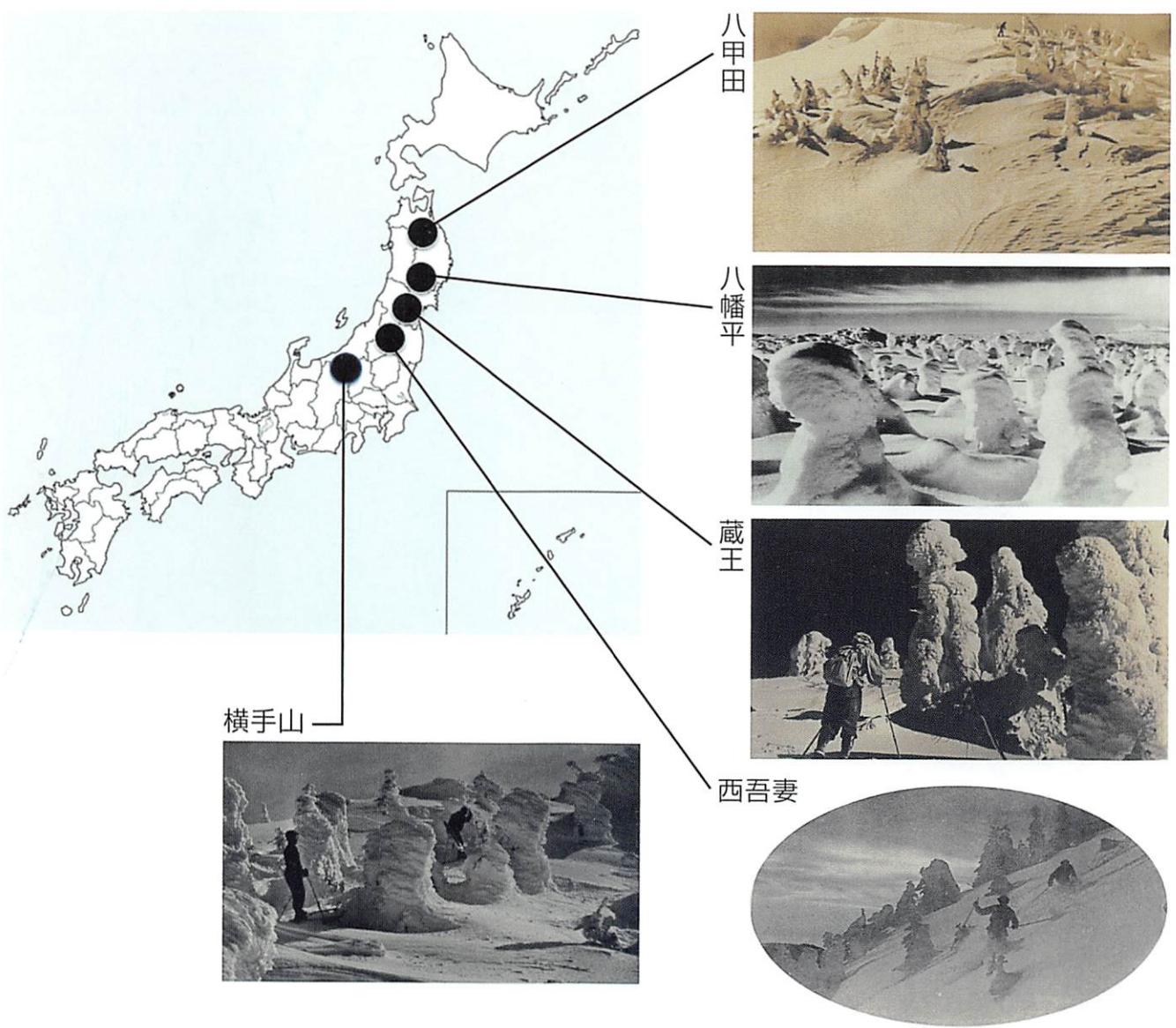
2013年2月27日の人工衛星画像



2013年1月18日の人工衛星画像



2013年2月28日の人工衛星画像



表紙

昭和8年3月20日、長澤壽三（利彦）氏撮影
蔵王の樹氷（アイスマンスター）

詳しくは環境保全をご覧下さい。

- 15号：<http://www.id.yamagata-u.ac.jp/EPC/21kouhou/no15s.pdf>
- 16号：<http://www.id.yamagata-u.ac.jp/EPC/21kouhou/no16s.pdf>
- 17号：<http://www.id.yamagata-u.ac.jp/EPC/21kouhou/no17s.pdf>
- 21号：<http://www.id.yamagata-u.ac.jp/EPC/21kouhou/no21s.pdf>

〒990-8560

山形県山形市小白川1-4-12
山形大学学術研究院

柳澤 文孝