HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	乗鞍コロナ観測所の着氷の調査
Author(s)	若浜, 五郎; 藤野, 和夫
Citation	低温科學. 物理篇, 27, 135-142
Issue Date	1970-03-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18108
Type	departmental bulletin paper
File Information	27_p135-142.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Gorow WAKAHAMA and Kazuo FUJINO 1969 Icing to the Dome of the Norikura Corona Station. *Low Temperature Science, Ser. A, 27.* (With English Summary p. 141)

乗鞍コロナ観測所の着氷の調査*

若浜五郎・藤野和夫
(低温科学研究所)

(昭和44年7月受理)

I. まえがき

長野・岐阜両県を境する北アルプス，乗鞍岳摩利支天岳の山頂，海抜2876 m の地点に東京天文台附属乗鞍コロナ観測所がある。この観測所は山頂に位しているため，冬になると，西寄りの強風がまともに吹きつける。雲粒，霧粒などの過冷却水滴が，この強風にのって観測所の建物に衝突し，凍結して着氷となる。建物の風上側は，着氷が著しく発達し，一夜のうちに，着氷の長さが1 m をこすこともしばしばあるという。コロナ観測用のコロナグラフを内蔵する観測ドームは，建物の最上部にあるため，冬季，風の強い日には，はげしく着氷する。

今回筆者らは東京天文台から，乗鞍コロナ観測所の着氷防止および着氷除去に関する調査の依頼をうけた。そこで，昭和44年2月18日から19日にかけてコロナ観測所における着氷の実体を調査した。以下に得られた結果を報告する。

II. 着氷の状況

1) 一般的な着氷の状況

われわれがコロナ観測所に到着した2月18日には，コロナ観測の都合で，観測ドーム上に大量に附着していた着氷はすっかりたたき落されていた(図版 I-1)。しかし，ドームの周縁を囲む擁壁には，図版 I-2 に示すように，直径 30～40 cm，長さ 50～100 cm の紡錐形の着氷の塊りが，全面に附着していた。図版 I-3 にその一部を大写しで示す。この着氷は，成長しつつある表面を除いて，非常に硬く，中心部には氷の芯がみられた。ピッケルでたたいても，容易には崩壊しないほど硬かった。

コロナ観測所員の話によると，風が強く，密雲に閉ざされた日には，このような硬くて巨大な着氷が一晩のうちに，観測ドーム上に形成されてしまうということである。そのため，所員がドームに登り，大きなハンマーで着氷をたたき落さなければならない。その際に飛散する粉末状の雪，氷もコロナ観測に支障をきたすという。

図版 I-4 に，主風向に直角に向いた建物の壁についた着氷の状況を示した。

2) 着氷の発達のしかた

2月18日の夕刻には，図版 I-1 に示したように，観測ドーム表面上の着氷は完全に除去されていた。しかし，翌2月19日の早朝には，図版 I-5 に示すように，ドームの表面には，すで

* 北海道大学低温科学研究所業績 第979号

にかなり多量の着氷がみられた。着氷はドームの表面に一様におこるのではなくて，えびの尾状の着氷が，ドーム表面のある場所から選択的に発達している（図版 I-6)。図版 I-5, 6 にみられるように，ドームを構成している鉄板の熔接の継ぎ目のところで，特に発達，成長が著しい。しかし，継ぎ目以外の部分にも，いたるところに着氷が附着している。このように，着氷が選択的に発達し易い場所を調べてみた。

えびの尾状の着氷をドームの表面からもぎ取ってみると，例外なく，そこのドーム表面には，傷や，ちょっとした凹凸がみられた。逆に，表面に凹凸のない滑らかな部分には，着氷が発生も発達もしていなかった。ドームの表面から，えびの尾状着氷を 1 個もぎとったあとにみられた表面の傷を，図 I-7 版の写真の中央下方に示した。このような傷は，主に，ドーム上に附着した巨大な着氷をたたき落したときにできたハンマーの傷あとである。

2 月 19 日の朝 8 時ころ，ドーム表面についた着氷の一部を完全に除去し，そのあとに着氷が成長するところを観察した。着氷はたしかに，表面のごくわずかの凹凸がある場所から成長しているのがみられた。着氷を除去してから約 2 時間半後にみた同じ場所の着氷状況を，図版 I-8 に示した。

風向が急変すると，成長しはじめた着氷がいっせいに脱落する現象がみられた。図版 II-9 にその状況を示す。ドームの表面が，この写真の右にみられるていどに着氷したとき，風向が西から南西に変わった。すると，ドームの北西側に当る部分の着氷が，この写真に示すように，大部分脱落した。もちろんこれは，ごく初期の段階の着氷で，しかも，ごく軟かい樹氷型の着氷だったからこそ，ドームからたやすく落ちたにちがいない。このような段階で着氷を落してしまうことは，その後の着氷の成長を防ぐためには有効な手段と思われる。軟かい樹氷型の着氷がおこる期間，ドームをゆっくり回転させておけば，風向が変わったと同じ結果になり，ドームについた樹氷状の着氷はほとんど脱落する可能性がある。

コロナ観測ドームの風下側に，数基の重油タンクが並んで立っている。観測所員の話によると，ドームにはげしく着氷するときでも，これら重油タンクには，あまり着氷をおこさないという。空になったタンクは，この傾向がとくに大きい。重油を消費したため空になったタンクの上半部は，重油が残っている下半部に比べて，着氷量がはるかに少ない。その例を図版 II-10 に示した。

III. えびの尾状着氷の顕微鏡組織

えびの尾状の着氷を観察してみると，透明な部分と不透明な部分とが帯状に，着氷の成長方向に直角に，互層をなしているのがわかる。透明な部分が雨氷型，不透明な部分が粗氷型といわれる着氷である[1),2),3)]。図版 II-11 にその例を示した。このこびの尾は，写真上，白い矢の方向に成長したものである。えびの尾の表面層は，一般に，わりあい軟かい樹氷状の着氷でできていたが，中心部は，硬い氷状の芯でできていた。一本のえびの尾の表面層をかき落したのち，すこしとかすと，内部の硬い氷の部分がとりだせる。それを厚さ 5～6 mm の薄板にしたときの写真を図版 II-12 に示した。このこびの尾の成長方向も写真に白い矢で示した。気泡が多く含まれている部分は不透明，少ししか含まれてない部分は透明である。着氷が透明の雨氷

型，半透明の粗氷型または全く不透明の樹氷型になるかは，成長時の気温又は成長速度の大小による[1),2),3)]。

これと同じようなえびの尾状の着氷を数個，魔法瓶に入れ，ドライアイスで冷却しながら北大低温科学研究所の低温実験室に運んだ。これから厚さが約0.5 mmの薄片を切り出し，その組織を偏光下で観察した。図版II-13および天然色写真の図版Vの(a)は，接写でとったこの薄片の写真である。それぞれの図で，弓なりにそっている細長い写真が，成長方向に垂直に切った薄片，幅の広い大きくうつっている写真が成長方向に平行に切った薄片である。成長方向は，図版II-13では，白い矢で示した。図版Vの(a)では，左から右に向う方向である。

風に垂直な断面の写真を見ると，えびの尾状の着氷の中心部は，直径が1～2 mmていどの大きさの粒からなり，その周囲は，直径が十分の数mmの非常に微細な結晶でできている。

また，風に平行な断面では，微細な気泡の帯が風の方向にほぼ垂直に走り，その近くは直径が約1 mmの結晶粒でできている。これが，図版II-11, 12にみられた着氷の不透明な部分である。

気泡の帯と帯との中間の部分は，幅が2～3 mm，長さが20 mmていどの細長い柱状の結晶粒からなり，気泡の含有量が非常に小さい。この部分が雨氷型にあたる。

これとは別の2個のえびの尾状の着氷試料から，風に平行に切りだした薄片の偏光顕微鏡写真を，折り込みの図版IIIとIVおよび色刷りの図版Vの(b)に示した。いずれのばあいも主風向は写真の左から右に，着氷の成長方向は，写真の右から左へ向う。

先ず，図版IIIに注目しよう。これは，前の図版II-11, 12に示したような，えびの尾状の着氷の中心部から切りだした薄片の写真である。写真の右上隅にSと印した附近から，着氷が左に向って「かき殻」状に約30 mm成長し，写真の左側，FFと印した気泡の列のところで一たん成長が止ったことがわかる。この「かき殻」状に成長した部分を構成する結晶粒は，成長方向に向って細長くのびている。このかき殻状領域の写真下方には，空隙あるいは気泡で囲まれた別の領域がみられる。さらに，かき殻状の領域の写真左方には，その後さらに成長した部分がみられる。この部分は，気泡の含有量がわりあい少ない。これは，この部分が非常に急速に成長したか，あるいは，成長時の気温が高くて，典型的な雨氷型の成長をしたことを示している。気泡や空隙は，例外なく，成長方向に平行に並んでいるので，逆に，薄片の写真からその着氷の成長の方向を知ることができる。

図版IVは，えびの尾状の着氷から切りだした薄片である。これは，図版IIIのよりは，もっと先端に近い，軟粗氷の部分にあたる。写真の左の端に主風向を矢で印した附近に，着氷の先端の一部がみられる。図版IIIの薄片よりは，はるかに微細な気泡が，成長方向に凸に弯曲した曲線にそって，縞状あるいは帯状に並んでいるのが目立つ。写真の左端，着氷の先端に近い部分は，過冷却水滴が衝突したままその場で凍結し，典型的な樹氷型の成長のあとを示している。

この写真に写っている全体は，成長方向に関して，ほぼ3つの領域に分けることができる。図の右端にL, Mと印した点と，左端にL, Mと印した点とをそれぞれ結ぶ線LL, MMを境にした上中下3つの領域がそれである。これら3つの領域は，それぞれ，前の図版IIIに示し

た薄片と同様，かき殻状に風に向って，独立にのびたことがわかる。直線 LL と MM とではさまれた気泡の少ない領域が，このえびの尾状着氷全体の中心部である。

直線 MM を境にして，縞状の気泡の列の向きが不連続的に変わっているのが目立つ。

写真の右側にみられる縞状の気泡の列と列との間隔がほぼ 1 mm なのに対し，写真中央から左手にかけては，1～2 mm と間隔がひろい。それと共に，気泡の含有量も減少し，雨氷型の組織に変わっている。この傾向は，LL と MM とではさまれた領域でとくに強い。これは，この部分の成長が，その両側の部分に比べて急速だったことによると考えられる。

IV. 着氷の除去および防止に関する二，三の考察

着氷は雲粒などの過冷却水滴が風にのって地物に衝突し凍結する現象だから，一般的な問題として，その除去あるいは防止法を考えることはできよう。すでに黒岩[1]は，山頂に設置されたマイクロウェーブ用パラボラアンテナの着氷防止の研究を行なった際に，この問題をくわしく論じている。

物体に着氷がおこることを防いだり，あるいは，凍り着いてできた氷の塊を物体から除去するには，一般に次の方法が考えられる。

(イ) 熱的方法。着氷をとかして除去する。
(ロ) 機械的方法。着氷に機械的な力あるいは変形を与えて，物体から剝離，脱落させる。
(ハ) 化学的方法。化学薬品で着氷をとかす。
(ニ) 表面処理法。物体の表面に着氷しにくい塗料をぬるか，あるいは，着氷しにくい材質を表面に張って，着氷の防止または除去を容易にする。
(ホ) 物体の形を着氷しにくい形にするか，あるいは，着氷しても除去し易い形にする。
(ヘ) 物体の前面に，着氷がおこらないように気流を変える構造物をおく。これは，防雪柵に類似の方法である。
(ト) 物体の前面に，着氷しても構わないか，あるいは，着氷してもすぐ脱落させうる構造物をおく。これは，防霧林と同じ考え方である。
(チ) 物体全体を，他の構造物で掩ってしまう方法。

これらのうち，(イ), (ロ), (ハ) は着氷除去法，(ニ), (ホ), (ヘ), (ト), (チ) は着氷防止法である。

次に，これらの方法のひとつひとつを，コロナ観測所のドームについて検討してみよう。

先ず，(イ) の熱的方法である。冬季，多雪地帯の家屋の屋根には，大量の雪がつもるが，室内の暖房のため，屋根と雪との接触面で雪が融けて，全体が滑落する。この際，融ける雪の量は，ごく僅かである。これと同様にして，ドーム内の室温を強制的に高めれば，着氷のドーム表面における凍着部が僅かにとけ，着氷全体が脱落することが期待される。実際にコロナ観測所でも，ドーム内部に電気暖房機を設置し，熱風をドームの天井に送って着氷の除去を試みたとのことである。理由はよくわからないが，兎に角この方法は失敗し，暖房機の使用を中止していた。失敗の原因として考えられることは，(i) 暖房機の容量が過少だったこと，(ii) 暖気がドームの天頂附近にだけたまり，肝心のドーム側壁が充分温まらなかったため，着氷が脱落す

るに至らなかったこと，が考えられる。このうち，(ii) の可能性が大きい。半球形のドーム全体は，基礎台座の上で回転するようになっていて，ドームの下端と台座との間は分離している。このため，寒冷な外気が，それらの隙間を通って，室内に侵入し，ドーム下部側壁が常に冷やされ，従って着氷がとけないおそれがある。この解決法として考えられるのは，(A) ドームと台座との隙間を，何らかの方法でふさぐこと，(B) 暖気のドーム内における循環を充分によくすること，などである。これらの点に留意し，さらに次に述べる機械的方法およびドーム表面の塗装等を併用すれば，効果的な着氷の除去が期待される。

しかし，熱的に着氷を除去しようとする際には，ドームの表面には常にとけ水が存在し，それが再凍結して種々な障害のおこることが考えられる。従って，熱的方法を実行しようとするときには，とけ水の処置を充分よく考えておかなければならない。

次に，(ロ) の機械的方法である。先ず考えられるのは，何かの道具を用いて，着氷をたたきおとすことである。従来，コロナ観測所でも大きな木槌，ハンマーなどで着氷をたたき落してきた。しかし，厳冬期に烈風下の山頂観測所ドーム頂上で，このような作業をすることには非常な危険と極度の辛苦とがともなう。その上，この方法はドームの表面を徒らに傷つけるため表面に凹凸を生じ，ドームはさらに着氷しやすくなる。従って，この方法を実行する際には，熱的方法その他で，あらかじめ着氷を滑落し易い状態にしておいてから行なうべきであろう。

他の機械的な方法として，第二次大戦中，飛行機の翼にとりつけられている着氷脱落装置を応用する手段がある。飛行機のばあいは，主翼前面に，ゴム等の撓み易い，変形し易い材質のものを張っておく。着氷がおこると，遠隔操作によってゴムを変形させる。すると，着氷は，ゴムとの界面で極めて容易に剝離し，脱落する。この方法は，漁船の船体着氷，列車の乗降口の着雪氷の除去にも応用され，極めて有効なことが実証された。天文台のドームのように，建物が半球形のばあいにこの方法を適用するのは，技術的に困難な点が考えられる。しかし，解決できない問題ではないし，また，ドームの形を，着氷除去に都合のよい形，たとえば円柱形，円錐形にすることもひとつの方法である。

もしもコロナ観測所のドームが半球形でなく，円柱形か円錐形だったとしたら，次のような方法も考えられる。たとえば，円柱形のばあい，建物の頂上から，ナイロンの紐等に錘りをつり下げておく。強い風が吹けば，この錘りは，建物の側壁に沿って振子のように常に動く。従って，着氷が成長しかけてもこの振子によって，着氷がおとされてしまう。このような着氷の初期除去法は，もともと，黒岩大助教授の発案で，山頂に立つ電電公社の極超短波反射板の着氷防止にすでに応用され，良好な結果をえているという。

次に，化学的な着氷防止あるいは着氷除去法についてのべよう。冬季，寒冷地を走る自動車は，窓ガラスが雪や氷で曇り，安全な運転に重大な支障を来たす。このようなばあい，エチレングライコール等，氷をとかす化学薬品を窓ガラスに塗布して氷を除去したり，予めこの種の化学薬品をガラスに塗布することによって，窓の曇りを防ぐ。この理を利用して，観測ドームの表面にこの種の化学薬品を塗布，あるいは噴霧しておけば，あるていどの着氷防止が期待される。かりに着氷がおこっても，それを機械的あるいは熱的に除去することが，はるかに容易となる。

次は，上の(ニ)項でのべた表面処理法である。この方法も勿論化学的な方法といえるが，便宜上，上の化学的方法とは分けて考える。ドームの表面に着氷防止用の塗料を予めぬっておくか，あるいは，表面の材質そのものを疎水性の強い物質に変えてしまう方法である。最近はこの種の塗料，あるいは材料で，かなり良いものが開発され，市販されている。多雪地では，この種の塗料をトタン屋根に塗るようになったため，屋根の斜度が非常にゆるやかなものですむようになった。また，この種の塗料を漁船の着氷防止に利用して，あるていどの成果を収めている[4]。しかし，この方法も，これ自体だけでは着氷防止の決定的な手段とはならない。他の熱的あるいは，機械的な方法と併用すべきである。

次の，(ホ)；ドームの形を変える方法は，原理的には考えられるが，他の種々の制約があるので，ここではふれないことにする。

(ヘ)の気流を変える方法は実現が可能と思われる。これは，防雪柵と類似の方法である。物体前面においた構造物によって気流をかえると，風にのってとんでくる過冷却水滴も，その進路が変わる。ドームに過冷却水滴がぶつからないように気流を変えればよいわけである。

(ト)のドームの主風向側に他の構造物を立て，ドームへの着氷を減らす方法は，すでにコロナ観測所で実施されていた。それは，野球のバックネットをそのまま張ったものであるが，筆者らの見聞した限りでは，かなり良い成果を収めていたようである。この方法は，上の(ロ)項，機械的方法のうちの飛行機の着氷防止法と原理的には同じである。2月19日午前8時ころ，ドームの西側に張ってあったバックネットには，大量の着氷がみられた。これをハンマーでたたくと，着氷は極めて容易に脱落した。3時間後の午前11時に再びこのネットを調べると，さきに着氷が完全に脱落した部分にあらたに2 cmの着氷が成長していた。その状況を図版II-14に示した。図版II-15は，その一部の拡大写真である。この着氷成長期間中は，ドーム周辺は霧に包まれ，視程は約10～15 m，風向は西向きで風速が5～6 m/sec，気温は−10℃くらいであった。このような気象条件下で，成長速度は約7 mm/時だったわけである。このときの霧水量，正確な風速，ネットの捕捉率などがわからないので，ネットの効果に関する詳しい事柄は将来の問題として残された。

以上，着氷防止あるいは除去に関して述べたが，一般的にいえることは，ドームの表面を平滑にし，凹凸をなくすることが重要である。このことに関しては，図版II-7の説明のところで詳しく述べた通りである。

おわりに，この調査をするにあたり，東京天文台乗鞍コロナ観測所長長沢進午博士，同じく森下博三講師から調査上種々の配慮をいただいた。森下講師は，乗鞍岳の登山から下山に至る間，終始われわれと行動を共にされ，あらゆる便宜をはかって下さった。コロナ観測所では岡本富三技官はじめ所員全員の方々のお世話になった。本報告を書くにあたって，吉田順五，黒岩大助両教授にはいろいろと御教示をいただいた。

以上の方々に，厚く御礼申し上げる次第である。

文　献

1) 黒岩大助 1956 着氷と着雪. 北海道大学学応用電気研究所彙報, **8**, 4, 153–174.
2) 高野玉吉 1950 風洞による着氷の研究, I～V. 低温科学, **5**, 1–60.
3) 小口八郎 1951 着氷の物理的研究, I～V. 低温科学, **6**, 95–146.
4) 田畑忠司 1966 船体着氷防止に関する研究. 昭和40年度北海道科学研究費試験成果報告書, 1–12.

Summary

In the winter season, the dome of the Norikura Corona Station at the summit of Mt. Norikura, Central Japan (2876 m above sea level) suffers heavy riming and icing. In order to discover a means of prevention from such a heavy riming on the dome, observations were made on the growing process of the rimes on the dome. It was found that the riming starts at scratches on the dome and even the slightest scratches are the starting point of rimes.

The rime was usually composed of a very soft mantle (soft rime) and a rigid inner core (clear ice). Microscopic observations of the inner core under polarized light revealed that it consisted of several oyster shell like domains. The approximate dmension of an individual domain was 20～30 mm in length in the growth direction and 10～15 mm in width.

図 版 説 明

I— 1 コロナ観測所ドームの一部。表面の塗料が落ちたり，傷がついているのがみられる

I— 2 観測ドーム周辺の擁壁に発達した巨大な着氷

I— 3 同上，一部の拡大

I— 4 主風向に直交する壁の着氷状況

I— 5 ドームの着氷を完全に除去してから約15時間後の状態（2月19日朝8時）。ドームの鉄板の継ぎ目に着氷がいちじるしい

I— 6 ドームの下縁附近の着氷状況。この附近は，風が上から下に向うため，着氷が上に向って成長している

I— 7 着氷を1個もぎとると，その根に当る部分の鉄板に，このような傷があることが多い

I— 8 2月19日朝8時，ドームの一部の着氷を除去した。それから3時間たった11時ころの同じ部分の着氷状況

II— 9 風向が急変すると，ドームの着氷が，このように脱落することがある

II—10 重油タンクの着氷状況。タンク上半部の空になった部では，着氷が脱落していることに注意せよ

II—11 えびの尾状の着氷。写真の左に向って成長した。成長方向に垂直な帯状構造がみられる

II—12 えびの尾状の着氷の不透明な表面層をとかし，内部の氷の部分だけにしたところ。雨氷型の透明層と，粗氷型の半透明層とが交互に帯状に並んでいるのがみえる

II—13 えびの尾状の着氷を厚さ0.5 mmの板にして偏光下でみたところ。写真の上方横に細長いのは，成長方向に垂直に切った板。下方のは成長方向（写真の上方）に平行に切った板

II—14 ドームの着氷防止のため，ドームの前面に張った野球用バックネットについた着氷。2月19日朝8時から11時までの3時間に約20 mm成長していた

II—15 同上。一部を拡大してとったところ

III えびの尾状の着氷の薄片を，弱い偏光の下でとった顕微鏡写真

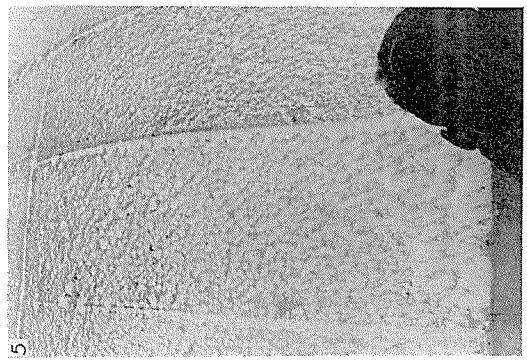
IV 同上。ただし，上とは別の試料である

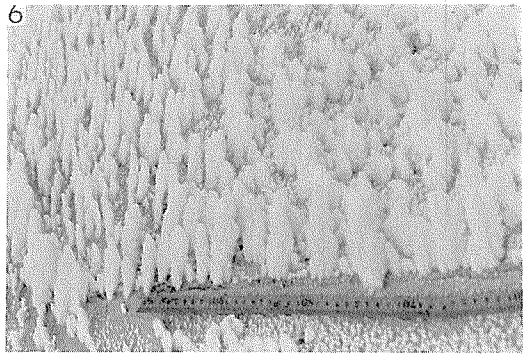
V-(a) 図版II-13と同じものを天然色写真でとったもの

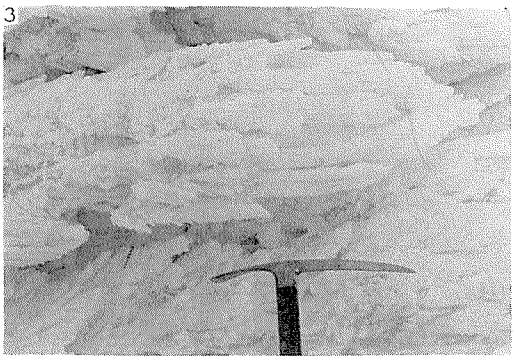
V-(b) 図版IIIに示した薄片の一部の天然色写真。視野の左右の幅は約9 mmである

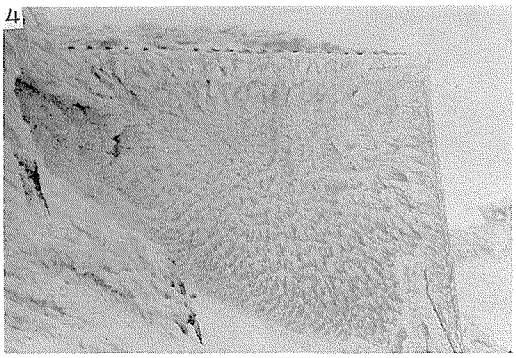
1

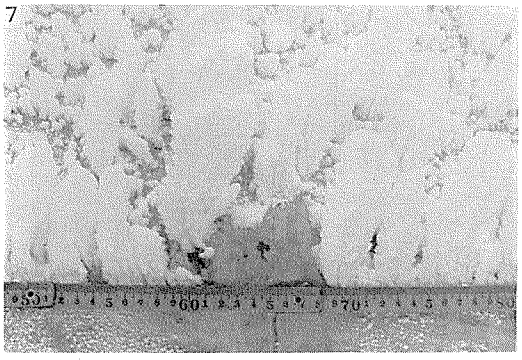
2

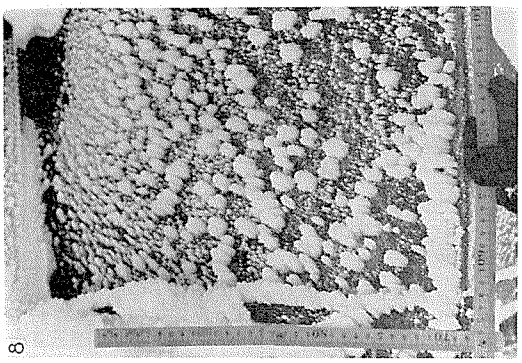

5


6


3

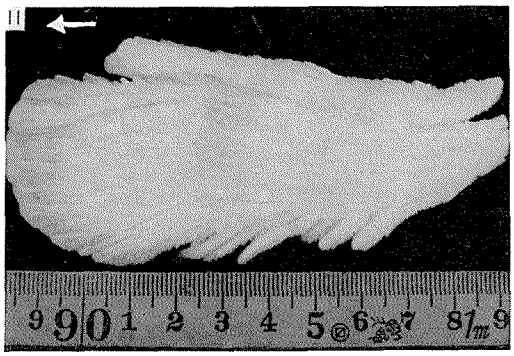

4


7

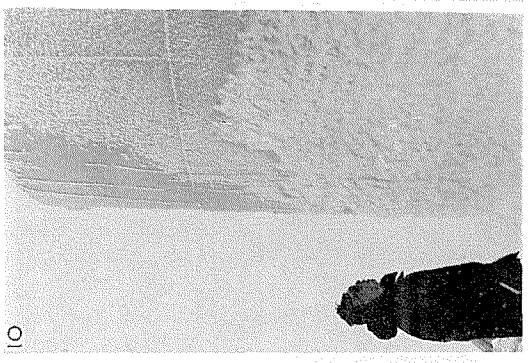

8

9

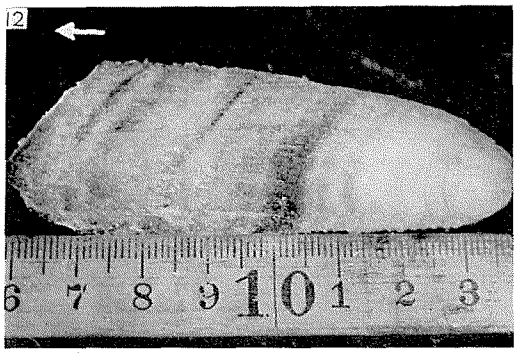
11



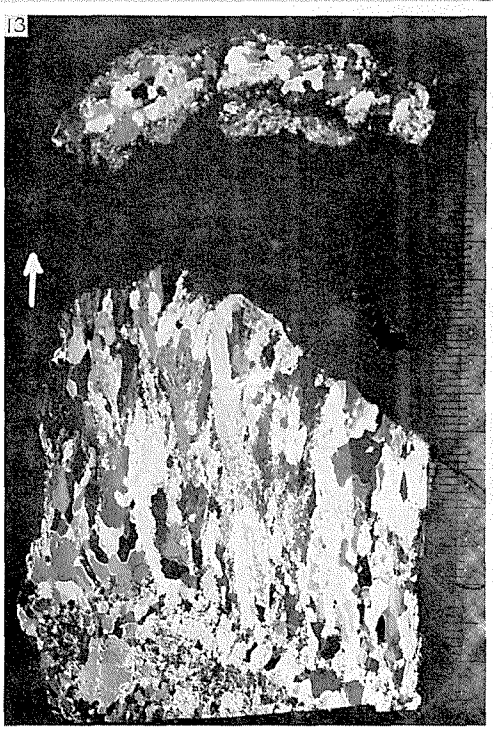
10



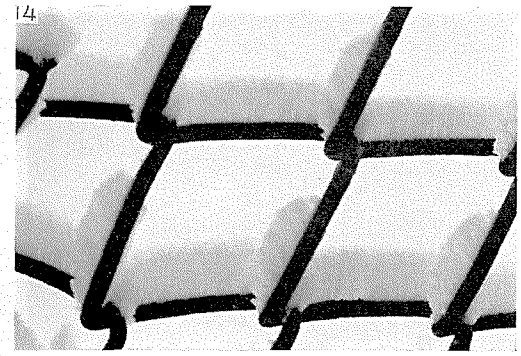
12



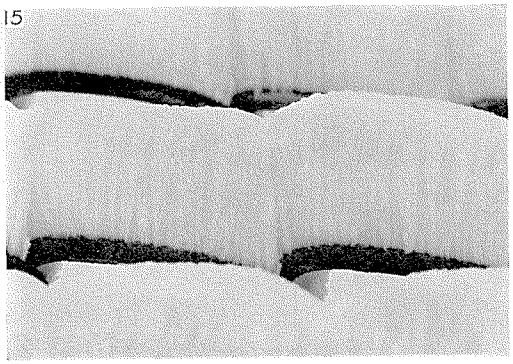
13

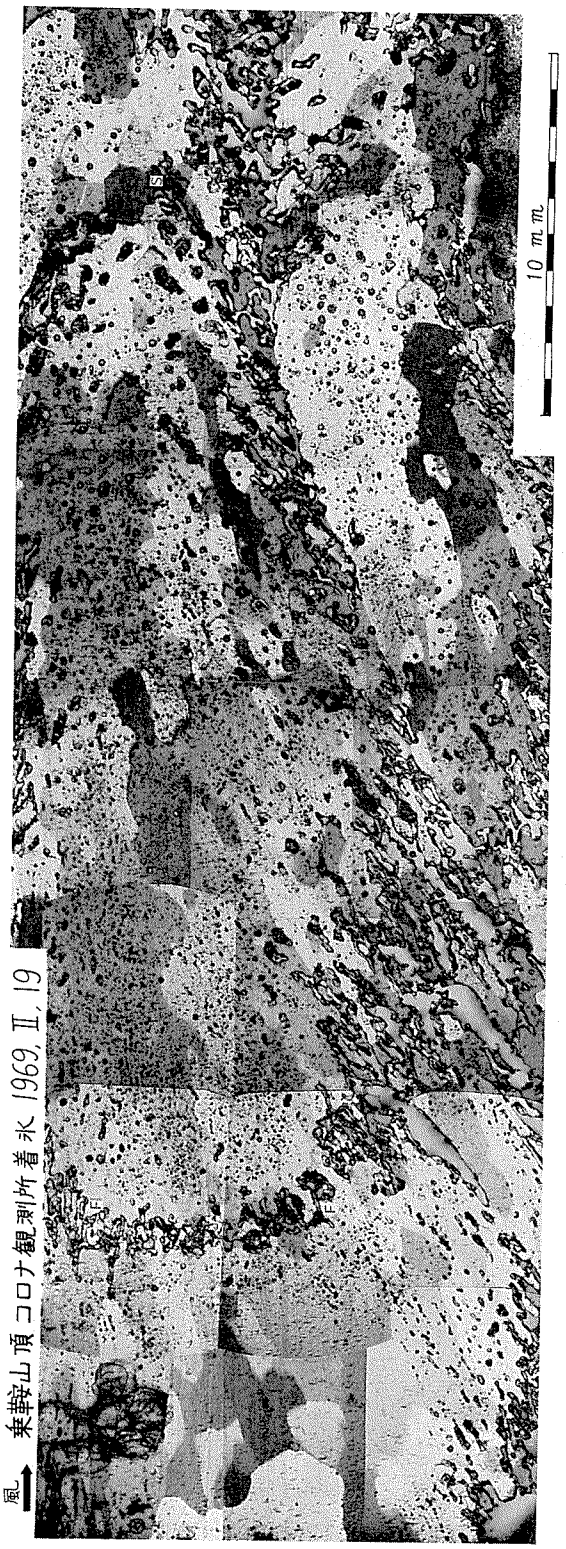


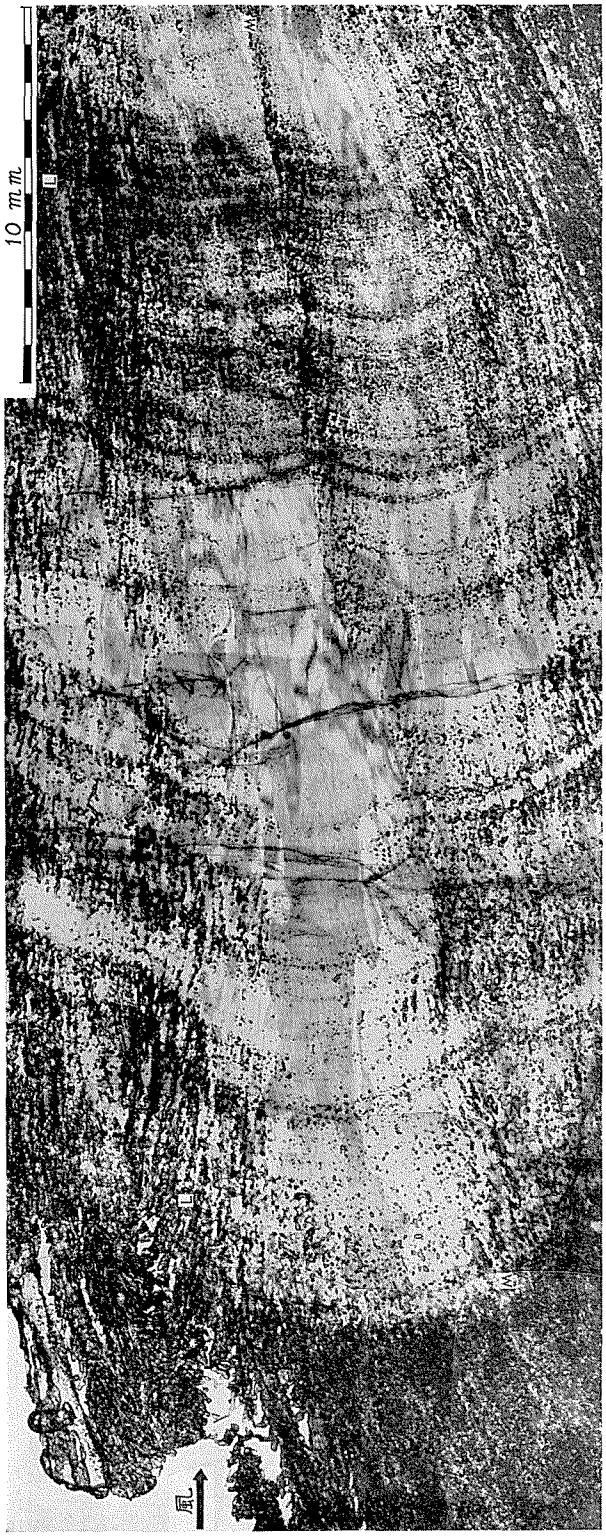
14

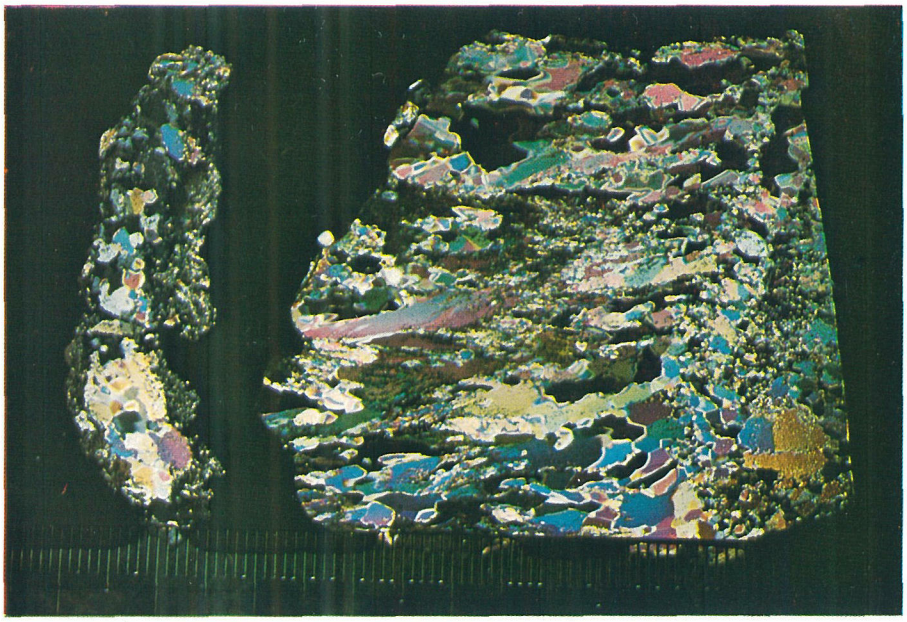


15

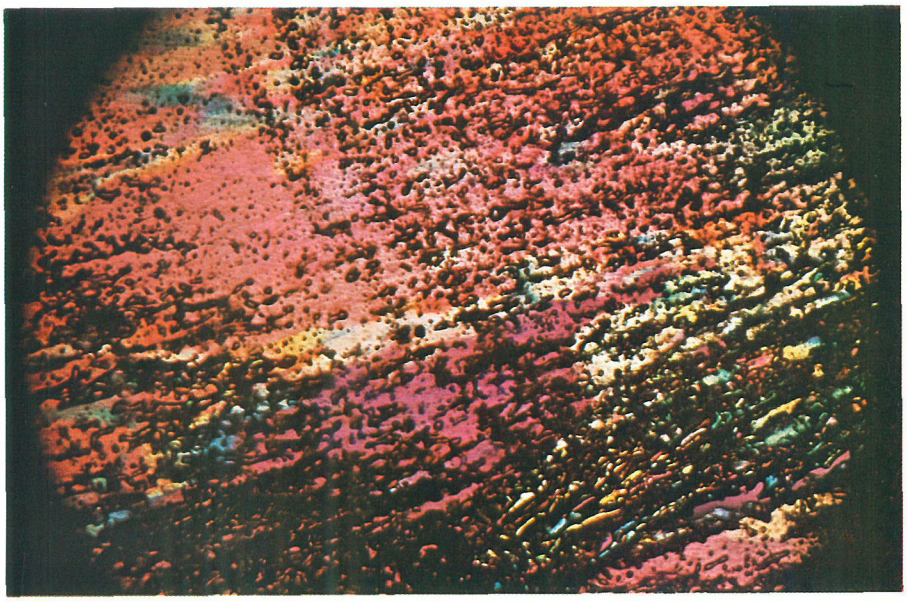



風
乗鞍山頂コロナ観測所着氷 1969, II, 19
10 mm


10 mm
風



(a)



(b)