



Title	北陸豪雪の雪質調査
Author(s)	吉田, 順五; YOSIDA, Zyungo; 木下, 誠一 他
Citation	低温科学. 物理篇, 22, 129-146
Issue Date	1964-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18012
Type	departmental bulletin paper
File Information	22_p129-146.pdf



北 陸 豪 雪 の 雪 質 調 査*

吉田順五・木下誠一・若浜五郎・中村 勉

(低温科学研究所 応用物理学部門)

藤岡敏夫・清水 弘・秋田谷英次

(低温科学研究所 雪害科学部門)

清水孝一・権平長四郎・佐藤幸三郎・近江 満

(弘前大学 文理学部)

(昭和 38 年 12 月受理)

I. ま え が き

昭和 38 年 1 月、裏日本の各地に豪雪があり、いつさいの交通が途絶した。上に記した研究者達は鉄道の通じはじめた 2 月 5 日以降、北陸地方におもむいて、積雪の性質の調査をおこなった。調査した場所は、長岡市、富山市、国有鉄道高山線の猪ノ谷、福井市、福井県大野市である。尚同年 5 月、立山の雪質の調査もおこなったので、その結果も附記する。

II. 調 査 項 目

平地の積雪の成層構造、硬度、密度、含水率の鉛直分布、積雪各層の顕微鏡組織をしらべた。密度 ρ の測定につかった採雪器は、箱形のもので、高さ 3 cm、幅 5 cm、奥行 6.7 cm、容積 100 cm³ である。硬度 H は木下式硬度計¹⁾で、含水率 W は結合熱量計²⁾で測定した。顕微鏡組織観察用の積雪薄片も、現地で、アニリン固定法³⁾によって製作した。アニリン固定法に必要な -20°C 以下の低温度は、ドライアイスでつくった。

III. 長 岡 の 雪 質

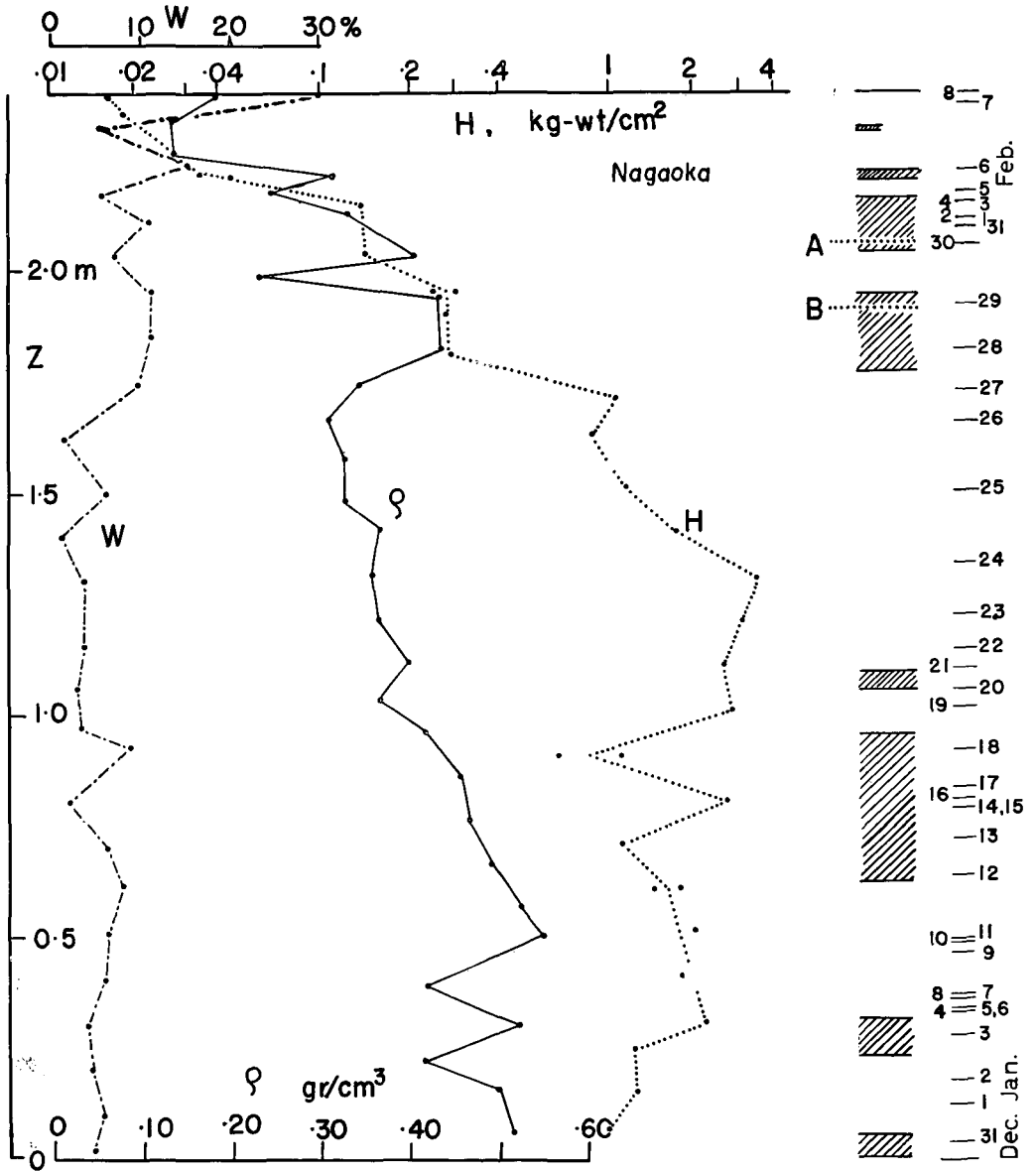
1. 構造と組織

2 月 7 日より 9 日迄、長岡市新潟大学工学部構内、自動車練習場の平坦地の積雪をしらべた。積雪科学館の裏手、科学館から約 50 m へだたった地点である。

図版 I-1 の写真は、2 月 7 日の積雪の鉛直断面で、図版 I-2 は、この断面の雪をインクで着色した⁴⁾ものである。積雪深は 2 m 41 cm であった。I-1 の写真で、中央部は白く、その上下はうす黒い。白い部分は、I-2 の写真の中程、物差しで 92 cm より 1 m 75 cm 迄の細い横縞が密にあらわれている部分にあたる。この部分はしまりゆきの層で、この雪の層の上、1 m 75 cm

* 北海道大学低温科学研究所業績 第 662 号

から雪面迄の雪と、92 cm 以下地面迄の雪はざらめ雪の多い層である。今、地面から上にむかって、これらの雪層を、順次、下部ざらめゆき層、中央部しまりゆき層、上部ざらゆき層とよぶことにする。中央部しまりゆき層は、全層がしまりゆきであるが、上部と下部のざらめゆき層は、ざらめ雪の層としまりゆきの層とが交互に重なったものである。I-2 の写真の上部と下部のざらめゆき層のなかで、横縞があらわれている部分がしまりゆきの層である。



第1図 長岡の雪質，2月7日，積雪深2m 41cm，縦軸は地上よりの高さZ(m)，左より，含水率W(%), 密度 ρ (gr/cm³), 硬度H(kg-wt/cm²), 成層構造，降雪推定日をしめす。成層構造のうち，斜線はざらめゆき空白の部分はしまりゆきをあらわす

第1図の右側に長岡の成層構造の見取り図をかかっている。縦軸は地面よりの高さ Z をあらわし、斜線の部分はざらめゆきの層、ざらめゆきの層の間の空白の部分がしまりゆきの層である。

図版 II-3 は、中央部しまりゆきの組織をしめすアニリン固定法による顕微鏡写真で、写真の上下が積雪中における実際の上下方向にあたる。中央部しまりゆき層の下部、 $Z=1\text{ m }5\text{ cm}$ のところの雪である。

図版 II-4, II-5, II-6 はいずれもざらめゆき層の組織であるが、アニリン固定法によらず、ざらめゆきをほぐしてうつした顕微鏡写真である。したがって、積雪中における上下方向はわからない。II-4 は $Z=2\text{ m }10\text{ cm}$ のござらめゆき、II-5 はおなじ Z のおおざらめゆき、II-6 は $Z=90\text{ cm}$ のおおざらめゆきである。

図版 I-1 の写真で、物指しの $1\text{ m }97\text{ cm}$ 、 $2\text{ m }10\text{ cm}$ のすぐ右側にみえている短い横線はマチックインクで画いた線で、ここにうす茶色をした雪の薄い層があった。このうす茶色の層を着色線とよぶことにする。第1図の成層図では、着色線を点線 A, B で示してある。

着色線は、その後調査した各地の雪にも認められた。一般に着色線がしまりゆきの層内にある場合には、線の幅は狭く、色も鮮かであるが、線の存在を明瞭に認めることができる。しかし、着色線がざらめゆきの層内にある場合には、線の幅は広く、色もうすくなって、発見が非常に困難になる。長岡でみられた2本の着色線 A, B はざらめゆきの層内にあって、極めてわかりにくい着色線であった。幸い、あらかじめ、古川巖氏よりその存在を知らされていたので見出すことが出来た。

雪の断面にあらわれた着色線は、積雪のなかにある着色面の切り口で、着色面の雪がかって積雪表面をなしていた時着色されたものである。着色剤は日本海をこえて運ばれてきた蒙古の黄塵と考えられるので、広範な地域にわたって、雪面は同時に着色されたはずである。したがって、ある場所で雪面が着色された日付が知られていれば、他の地点での着色日をそれとおなじ日であると判定してよい。着色線は、いわば、地層における鍵層 (key bed) に相当するものである。

第1図の右端には、第VIII節でのべる方法で推定された積雪層内の雪の降雪日がかきいられている。この推定によれば、Bの着色線は1月28日朝から29日朝迄の間につくられ、Aの着色線は29日朝から30日の朝迄の間につくられたことになる。

2. 硬度、密度、含水率

第1図には2月7日の硬度 H 、密度 ρ 、含水率 W の鉛直分布がしめしてある。硬度 H の目盛りは、図の上方に対数目盛りであらわされている。 H は積雪表面のしんせつでは 20 gr-wt/cm^2 の小さな値であるが、上部ざらめゆき層で次第に大きな値になり、中央部しまりゆき層では 1 kg-wt/cm^2 以上の値をしめす。 H の最大値はこのしまりゆき層の中にみられ、 4 kg-wt/cm^2 に達している。下部ざらめゆき層で H は減少し、且大きな変動をしめすが、それでも 1 kg-wt/cm^2 以上の値は保っている。

密度 ρ はかなり複雑な変動をしめすが、通常みられるように、全体としては深さとともに

増す傾向にある。そして、 ρ の変動と雪質をくらべてみると、ざらめゆきで ρ が大きく、しまりゆきでは小さい。ざらめゆきを除外し、中央部しまりゆき層および上下ざらめゆき層内のしまりゆきだけを考えると、 ρ は深さとともに増加する単調な曲線をえがく。実際の ρ の曲線は、単調な増加曲線から、ざらめゆきの大きな密度が、はみだした形になっているわけである。

表面の雪の密度は 0.18 gr/cm^3 で、5 cm 下の雪の密度 0.13 gr/cm^3 よりも大きい。雪面の雪はぬれしんせつで、第1図に鎖線であらわされている含水率 W がしめすように、30% の水をふくんでいる。水を含んだ雪の密度 ρ は、単位体積中の氷の質量と水の質量との和であるが、氷の部分だけについて考えた乾燥密度を ρ_i とすると、 $\rho_i = \rho \left(1 - \frac{W}{100}\right)$ である。表面の雪では、 $\rho_i = 0.13 \text{ gr/cm}^3$ となり、5 cm 下の雪の密度にひとしくなる。すなわち、表面の雪の密度が大きいのは、この雪が融雪水を吸いこんで30%にものぼる水をふくむにいたったからにはかならない。5 cm 下の雪も水を含むが、 $W = 5\%$ にすぎず $\rho_i = 0.12 \text{ gr/cm}^3$ である。

含水率 W は雪面における30%が最大で、地上2 m 25 cm 附近のざらめゆきの $W = 15\%$ がこれに次ぐ。その他の部分では小さく、上部ざらめゆき層では10%内外、中央部しまりゆき層で5%あるいはそれ以下、下部ざらめゆき層では5%前後であった。

IV. 富山の雪質

1. 構造と組織

富山市では2月12日に、富山大学経済学部前庭の深さ1 m 41 cm の雪をしらべた。4階建鉄筋コンクリートの建物の北西側、建物より約5 m、日中の大部分が日かげになる場所である。

図版 III-7 は富山の積雪断面の写真で、III-8 はこの断面をインクで着色したものである。III-7 の写真でうす黒くうつっている45 cm 以下の層と、1 m 10 cm 以上の部分はざらめゆきで、III-8 の写真の、はっきりした横縞がみとめられない部分にあたる。45 cm より1 m 10 cm 迄はしまりゆきの層をなしている。地上25 cm にみえる二又にわかれた黒い線は、木の小枝である。

第2図の右側に積雪の成層状態がしめしてある。斜線を施した部分がざらめゆき、上下2層のざらめゆきにはさまれた空白の部分がしまりゆきである。

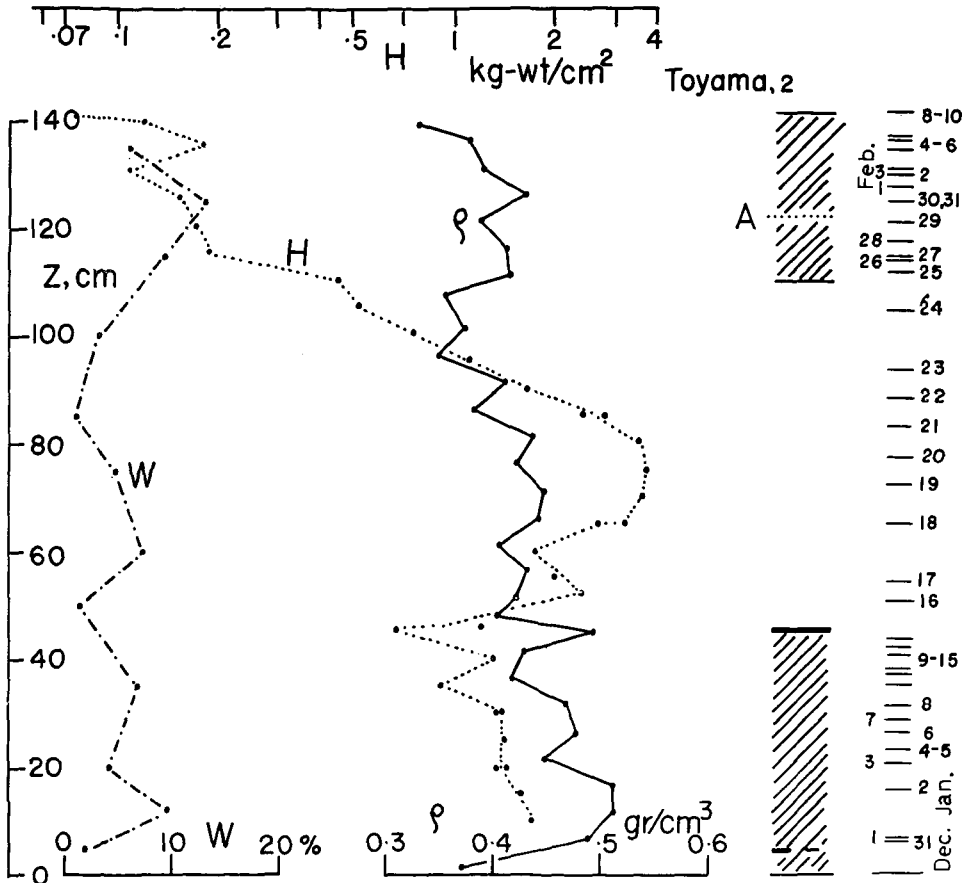
長岡の積雪の成層構造も上部、下部のざらめゆき層と、中央部のしまりゆき層とに区別された。しかし、長岡の上部、下部のざらめゆき層には、3~4層のしまりゆきの層が入っていた。富山の成層構造では、上下のざらめゆきの層が、ほとんどざらめゆきだけで構成されていた点が特徴といえよう。

とはいえ、ざらめゆき層内に全然しまり雪がなかったわけではない。III-8 の写真にみられるように、上下のざらめゆきの層内に部分的にインクの縞があらわれ、この部分の雪がしまりゆきであることをしめしている。これは、断続したしまりゆきの薄層である。

第2図、地上高 $Z = 1 \text{ m } 23 \text{ cm}$ の水平な点線 A は着色線である。ざらめゆきのなかにあるため、長岡の場合とおなじく、かなり不明瞭な線である。長岡では2本の着色線がみられた

が、富山では1本だけしか見出すことが出来なかった。第2図の右端にかきいれてある推定降雪日によれば、着色線は1月29日朝から30日朝迄の間につくられたことになる。

富山では、以上にのべた富山大学経済学部前の外に、同大学職員ホール南東側の平地の雪



第2図 富山の雪質，2月12日，積雪深1 m 41 cm，日かげの雪

を2月11日にしらべた。日当りのよい場所で、積雪深は、経済学部前にくらべて17 cm 少ない1 m 24 cm であった。この場所のインクで着色した積雪断面の写真を図版 III-9 にしめしてある。地上19 cm 迄が下部ざらめゆき層，その上方，地上53 cm 迄が中央部しまりゆき層，58 cm より1 m 24 cm 迄が上部ざらめゆき層になっていた。

経済学部前の日かげの雪にくらべると、上部ざらめゆき層がいちじるしく厚い。経済学部前では30 cm であったのが、職員ホール前の日あたりでは2.2倍の66 cm の厚さになっている。一方しまりゆきの厚さは、日かげで65 cm，日あたりで60% 減の39 cm，下部ざらめゆきは、日かげで45 cm，日あたりで58% 減の19 cm である。つまり、日あたりでは、下部ざらめゆき層と中央部しまりゆき層がうすく、上部ざらめゆき層がいちぢるしく厚い。

第 X 節でのべるのように、下部ざらめゆきは 1 月上旬中に形成され、その上に降り積った雪がしまりゆきを形成した。2 月に入り、降雪が少く、気温、日射による積雪表面の融解がすすむにつれ、融解水がしまりゆき層に浸透し、しまりゆきのざらめ化をもたらした。したがって、経済学部前の雪の方が、1 月の豪雪の時に近い雪質を保存していたことになる。

積雪組織の観察は、職員ホール前の口あたりの雪についておこなった。図版 IV-10 は地上 20~25 cm のしまりゆきの組織、IV-11 はおなじ高さにあった水みちのざらめゆきの組織、IV-12 は地上 50~55 cm のしまりゆきの組織である。3 枚の写真とも、アニソソ固定法によるもので、写真の上が積雪中での実際の上の方向である。IV-10 はほぼ典型的なしまりゆきの組織である。IV-12 の雪粒は普通のしまりゆきの粒よりは大きく、ざらめゆきの粒に変化する初期の段階にあることをしめしている。

2. 硬度, 密度, 含水率

第 2 図には、経済学部前の雪について、硬度 H 、密度 ρ 、含水率 W の鉛直分布をしめしてある。硬度 H は、上部ざらめゆきの表面近くの 0.1 kg-wt/cm^2 にはじまって、雪の深さとともに増加し、しまりゆき層の中程で 4 kg-wt/cm^2 の最大値に達し、以後減少して下部ざらめゆき層では約 1 kg-wt/cm^2 の値になる。この傾向は長岡の場合とおなじである。

雪の密度 ρ は、上部ざらめゆき層で 0.33 から 0.43 gr/cm^3 の値をとり、しまりゆき層の上部で一たん低下する。その後は、雪の深さがますますつれて再び増加し、地面のすぐ上でまた急に減少する。上部ざらめゆきが特に大きな ρ をもち、接地積雪層が特に小さな ρ をもつ外は、一般的に雪の深さとともに ρ がますます傾向になっている。

上部ざらめゆき層で特に ρ が大きいことの原因のひとつは、この部分の含水率 W の大きな値である。例えば、上部ざらめゆきにおける ρ の最大値は、地上高 $Z=1 \text{ m } 27 \text{ cm}$ の 0.43 gr/cm^3 であるが、 W が 12% なので、 ρ_i にすれば 0.38 gr/cm^3 となる。この値はしまりゆき層の上部の雪の ρ の値 $0.36\sim 0.37 \text{ gr/cm}^3$ よりも僅かに大きいだけである。(しまりゆき層上部の W は約 5% であるから、 ρ_i としては $0.34\sim 0.35 \text{ gr/cm}^3$ である)。

含水率 W は、上部ざらめゆき層で、ざらめゆきの W としては特に大きい 12% の最大値をしめたが、それ以外の雪では 10% 以下、特に、しまりゆき層の $Z=85 \text{ cm}$, 50 cm では 1% 、接地積雪層で 2% の小さい値であった。一般にざらめゆきは抱水能が小さく、水にひたしたざらめゆきを水から出して放置しても、 5% 程度の W しか示さない。富山にみられた 12% にも達する W は、ざらめゆき層を水が通過しつつある過渡的狀態をしめすものであろう。

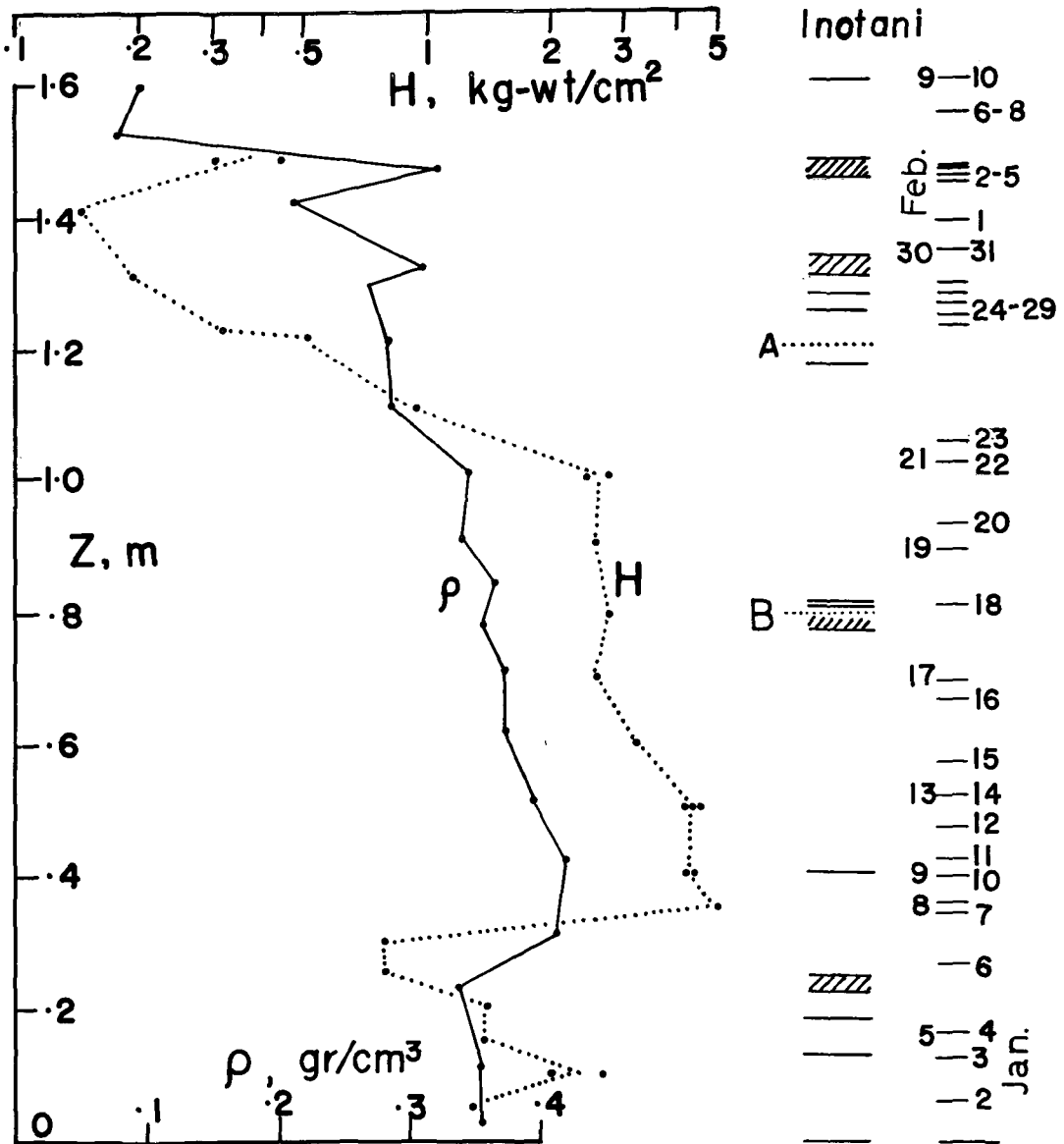
V. 猪ノ谷の雪質

1. 構造

富山市の積雪調査をおえた後、2 月 13 日に高山線沿線の山の雪をしらべた。今回の豪雪は里雪型とよばれ、平野部に多量の降雪があったことが特徴とされている。実際、山手にある新潟県高田市では例年よりも雪が少なかった。しかし、どの地方でも山手の雪が格段に少なかったわけではない。高山線の猪ノ谷の雪は、事実、平野部にある富山市の雪より少し多かった。

富山市の雪の調査は2月12日におこなったが、雪害の最もはげしかった1月下旬の雪は、その後の気温上昇のために、性質をかえていたと考えなければならない。山手に入れば、積雪の性質もあまり変化をうけていないであろう。

高山線猪ノ谷駅と杉原駅との間、岐阜県との境の鉄道トンネルより約1 km 猪ノ谷側によった所で、猪ノ谷側からみて鉄道線路の右側の国道上の雪をしらべた。海拔約250 m、日本海岸から約33 km の地点である。積雪深は1 m 61 cmで、富山の1 m 41 cmよりも20 cm 多か



第3図 猪ノ谷の雪質，2月13日，積雪深 1 m 61 cm

った。北向斜面のふもとをとおる国道上の雪で、国道は根雪以来交通がとだえていたため、積雪断面にあらわれた雪の壁には、車輛による擾乱の痕跡はみとめられなかった。

図版 V-13 の写真は積雪の鉛直断面、V-14 はこの断面をインクで着色したものである。これらの写真および第 3 図の成層構造の見取り図にみられるように、大部分がしまりゆきで、そのなかに、ざらめゆきのうすい層が幾層もはさみこまれている。図版 V-13 でうす黒くうつっている部分が、うすい氷板をふくむざらめゆきの層で、第 3 図には一本の水平な実線でしめしてある。ざらめゆきのうすい層は、地上 23 cm 以下と、1 m 13 cm 以上の雪に多く、これら 2 つの雪が、富山、長岡の下部及び上部ざらめゆき層に相当する。

猪ノ谷の雪には 2 本の着色線がみられ、図版 V-13 の左側に矢印でその位置をしめた。第 3 図では A, B の点線でしめしてある。第 3 図の右端に記入されている降雪口の推定によれば、A の着色線は 1 月 23 日朝から 24 日朝迄の間に、B の着色線は 1 月 17 日朝から 18 日朝迄の間に作られたことになる。猪ノ谷では顕微鏡による積雪組織の観察は行なわなかった。

2. 硬度、密度

第 3 図に積雪の硬度 H 、密度 ρ の鉛直分布をしめた。密度 ρ は積雪の深さとともに増加しているが、地上高 $Z = 1\text{ m } 40\text{ cm}$ 、 $1\text{ m } 33\text{ cm}$ の 2 つのざらめゆきの ρ は特に大きな値をしめし、 $Z = 30\text{ cm}$ 以下の ρ は特に小さな値をもっている。 ρ の特に大きい値をしめた 2 つのざらめゆきの層には水がふくまれ、しめりざらめゆきの状態にあった。猪ノ谷では含水率の測定は行なわなかったが、これら 2 つのざらめゆきの層を除いた他の雪には、水分はみとめられなかった。

富山にくらべて、猪ノ谷の ρ の値は一般に小さく、同じ Z に対する ρ の値が富山の ρ とひとしくなったのは、 $Z = 4\text{ cm}$ 、 32 cm 、 43 cm 、 $1\text{ m } 2\text{ cm}$ においてだけであった。

硬度 H は、積雪全層について、富山の H よりも大きく、特に $Z = 35\text{ cm}$ のしまりゆきの示した H は 5 kg-wt/cm^2 に達した。この H をしめたしまりゆきは、猪ノ谷における最大密度の雪である。

VI. 福井の雪質

1. 構造と組織

福井市における調査は、福井大学工学部 新館講義室北側で、2 月 16 日におこなった。建物より約 5 m 離れた所で、正午前後には日かげになるけれども、それ以外の時には日射をうける場所である。

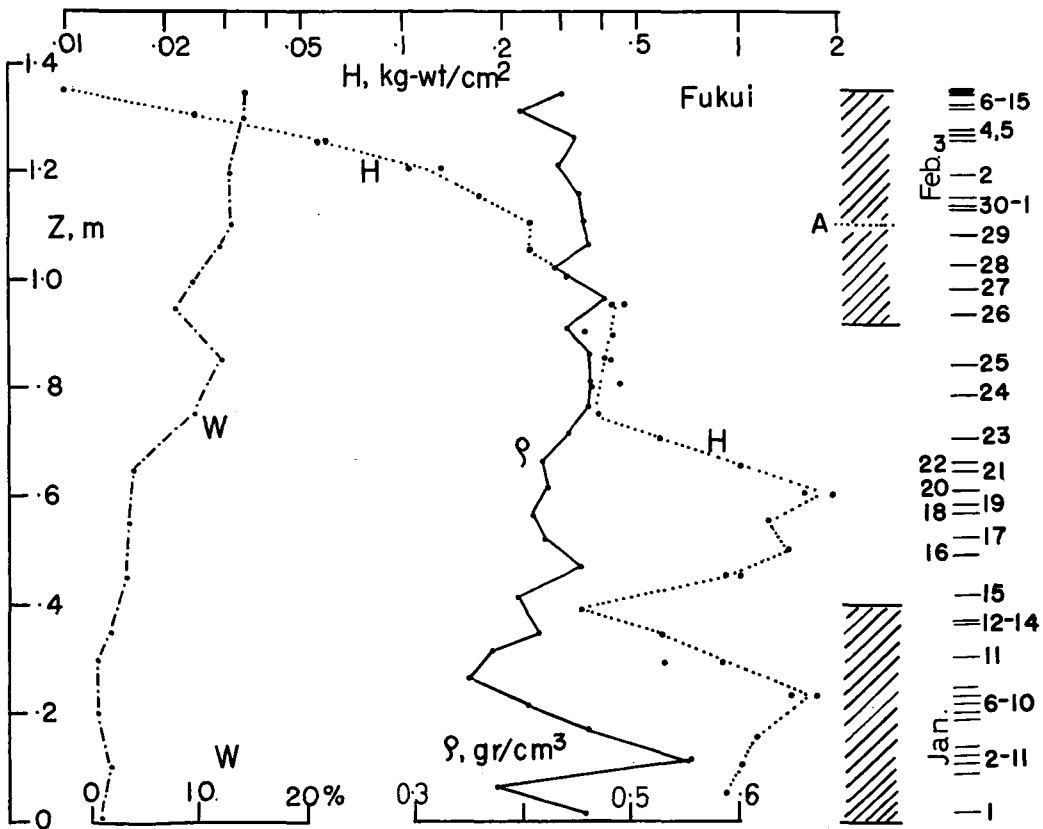
図版 VI-15 は積雪の鉛直断面、VI-16 は断面をインクで着色したものである。積雪深は $1\text{ m } 37\text{ cm}$ で、富山の 12 日における積雪深 $1\text{ m } 41\text{ cm}$ に近く、成層構造にも類似の点が多い。写真にみられるように、構造は、富山の場合とおなじく、はっきりと分離した 3 層構造をなし上部と下部がざらめゆき、中央部がしまりゆきであった。VI-16 で、しまりゆきの右上、横縞が一部ボヤけているのは、この場所の雪がざらめゆきに変化しはじめているためである。福井市では、写真にみえている雪の外に、一日中日射をうける場所の雪もしらべた。その雪も、写真

の雪とよく似た構造をしていたが、しまりゆき上部のざらめ化がさらに進行していた。

第4図の右側に成層構造の見取り図をかかかしてある。上部ざらめゆき層の中程、地上高 $Z = 1\text{ m } 32\text{ cm}$ の点線 A は着色線である。富山市の場合と同様、福井市でも着色線は1本しかみとめられなかった。第4図の右端に記入した降雪推定日によると、着色線 A は1月29日朝から30日朝迄の間に作られたことになる。

図版 VII の3枚の写真は、アニリン固定法で作られ薄片の顕微鏡写真である。何れも写真の上下方向が、積雪中における実際の上下方向である。VII-17 は地上高 $Z = 80 \sim 90\text{ cm}$ のしまりゆき、VII-18 は $Z = 90\text{ cm} \sim 1\text{ m}$ のざらめゆき、VII-19 は地面直上のざらめゆきである。VII-17 のしまりゆきの雪粒は、図版 II-3 の長岡のしまりゆき、IV-10、IV-12 の富山のしまりゆきにくらべて、幾分雪粒が小さいが、しまりゆきの雪粒として特に小さいわけではない。VII-17 のしまりゆきは、含水率の少ない部分から採ったものである。また、ざらめゆきの粒の大きさ、粒同志のつながり方も長岡、富山のものと大してちがわない。

図版 II-4、5、6 の長岡のざらめゆきの粒は他の土地のざらめゆきの粒にくらべて特に大きくみえる。これは他の土地のはアニリン固定法による薄片の写真であるのに対して、長岡のは



第4図 福井の雪質，2月16日，積雪深1 m 37 cm

アニリン固定法によらないで、ざらめゆきをほぐしてうつした写真だからである。図版 VII の写真には球形の気泡がみえるが、これは薄片製作中に偶然アニリン液中に入った気泡である。また、VII-18 の写真にみえる細かい繊維状のものは、アニリン液をドライアイスで凍結させた時、アニリン液から析出した氷である。

2. 硬度, 密度, 含水率

第4図に積雪の硬度 H , 密度 ρ , 含水率 W の鉛直分布が記入してある。硬度 H は雪面における 0.01 kg-wt/cm^2 の小さい値から積雪深がますますともに増加し、地上高 $Z = 60 \text{ cm}$ で最大値 2 kg-wt/cm^2 になった。その後、 $Z = 40 \text{ cm}$ の下部ざらめゆきの直上で 0.3 kg-wt/cm^2 まで低下したが、ざらめゆき層の中では再び増加し、 2 kg-wt/cm^2 近くの値をしめした。地面に近づくと H は再び減少し、 $Z = 5 \text{ cm}$ では 1 kg-wt/cm^2 になった。

しまりゆき層に最大値がある点で、福井における硬度も、他の所とちがいはない。しかし富山、長岡で最大値が 4 kg-wt/cm^2 , 猪ノ谷で 5 kg-wt/cm^2 であったのに対し、福井では、 2 kg-wt/cm^2 と、その半分にすぎないことが注目される。

含水率 W は雪面で 14% の大きな値をしめし、雪の深さとともに減少するが、それでも、上部ざらめゆき層で 10% 以上の値をもち、その層の下で漸く 8% に減っている。しまりゆき層上部で W は再び増加して 12% をしめすが、それ以後深さとともに減少し、しまりゆき下部層で 3% , 下部ざらめゆき層では、わずか 1% である。

密度 ρ は上部ざらめゆき層で約 0.45 gr/cm^3 の値をもち、しまりゆき層の上層から下層にかけて次第に減少して 0.40 gr/cm^3 に近づき、下部ざらめゆき層の上半部迄この減少が続いて 0.35 gr/cm^3 になる。下部ざらめゆき層の下半分になると ρ は再び増加し、 $Z = 12 \text{ cm}$ で 0.55 gr/cm^3 と ρ の最大値をしめした後、 $Z = 7 \text{ cm}$ で 0.38 , $Z = 1.5 \text{ cm}$ で 0.46 gr/cm^3 と変化している。

下部ざらめゆき層下半分における ρ の大きな変動を除けば、 ρ は積雪の表面近くで大きく下にゆくにしたがって小さくなる傾向である。これは、雪の含水率 W が積雪上層程大きいことによるのであって、乾燥密度 ρ_d にすれば、全層ほぼ一様な 0.4 gr/cm^3 の値をもちことになる。

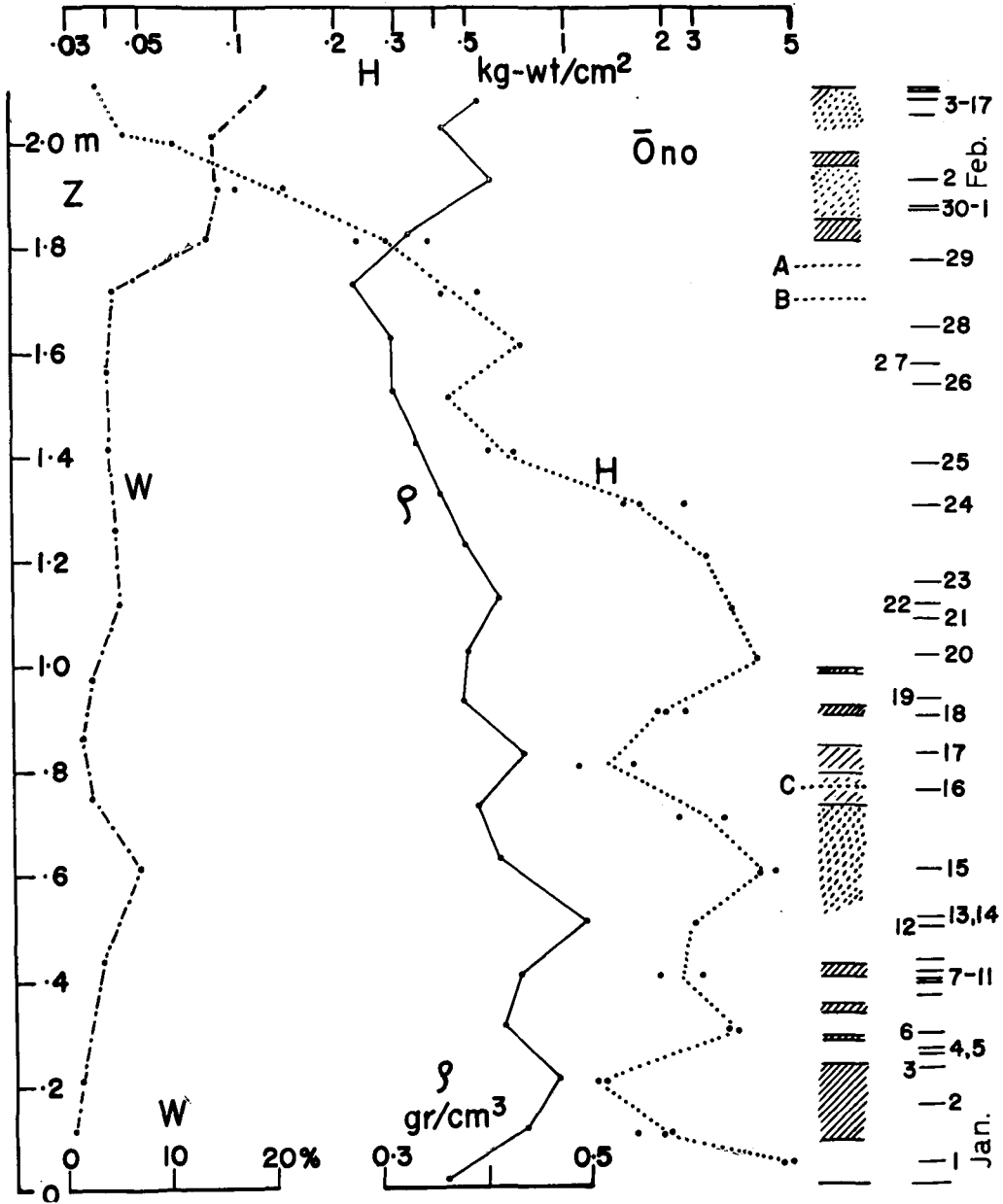
VII. 大野の雪質

1. 構造

福井県大野市は福井市の東南東約 30 km , 標高 173 m の大野盆地の中心地である。市内下庄小学校の北側の畑地で、校舎から約 30 m はなれ、屋根からおちた雪の影響をうけない場所の雪をしらべた。調査の日は2月17日で積雪深は $2 \text{ m } 10 \text{ cm}$ であった。

大野における積雪の鉛直断面及びピンクで着色して断面の写真を、図版 VIII-20, VIII-21 にかかげてある。猪ノ谷の雪に似てしまりゆきの多い構造である。第5図の右側に成層構造の見取り図をしめした。斜線の部分がざらめゆき、空白の部分がしまりゆきであることは以前の図と同様で、点線でひかれた斜線の部分は、こざらめゆきの層である。

積雪は地上高 $Z=1\text{ m}$ 以下及び $1\text{ m } 80\text{ cm}$ 以上のざらめゆきの多い層と、これら2つの層にはさまれたしまりゆきの層とに分けられる。推定降雪日によると、下部ざらめゆき層は1月20日以前の雪、上部ざらめゆきは1月29日以後の雪になる。



第5図 大野の雪質，2月17日，積雪深2 m 10 cm，成層構造のうち，点線で引いた斜線はこざらめゆきをしめす

大野の雪には、第5図にしめした A, B, C 3本の着色線がみられた。推定降雪日によれば、着色線 A, B は1月28日朝から29日朝迄の間に、着色線 C は1月16日朝から17日朝までの間に作られたことになる。

2. 硬度、密度、含水率

第5図によると、積雪の硬度 H は雪面の 0.04 kg-wt/cm^2 以下の小さな値からはじまって、雪の深さとともに増加し、しまりゆき層の下縁、地上1mで 4 kg-wt/cm^2 の値に達する。これの下では、 H は 1 kg-wt/cm^2 と 4 kg-wt/cm^2 との間を変動し、地面近くになると 5 kg-wt/cm^2 に達する。今回の調査で H が 5 kg-wt/cm^2 という大きな値をしめしたのは猪ノ谷と大野の雪で、何れも山の雪である。北海道でも、大野と同様2mの積雪があれば、下層のしまりゆきに H の最大があらわれる。しかしその値は 20 kg-wt/cm^2 にも達する。それにくらべると、今回調査された地帯の H は、一般に非常に小さかった。

密度 ρ は、上部のざらめゆきの多い層で 0.4 gr/cm^3 前後の値であるが、しまりゆき層にはいれば 0.28 gr/cm^3 にへる。積雪上層部の ρ が大きいのは、この部分の含水率 W が大きいため、乾燥密度 ρ_i は $0.30 \sim 0.35 \text{ gp/cm}^3$ で、しまりゆき上層部の ρ よりやや大きい値にすぎない。 ρ はしまりゆきの上層部から、雪の深さがますます増加し、 $Z = 50 \text{ cm}$ で最大値 0.50 gr/cm^3 になっている。 $Z = 50 \text{ cm}$ における W は5%であるから、 $\rho_i = 0.48 \text{ gr/cm}^3$ である。 $Z = 50 \text{ cm}$ 以下、ざらめゆき層としまりゆき層とが交替している所では、しまりゆきの ρ は小さく、ざらめゆきの ρ は大きく、地面近くで 0.36 gr/cm^3 となる。

含水率 W は雪面近くで20%、上部ざらめゆき層で15%の大きな値をもつが、しまりゆき層では5%、 $Z = 1 \text{ m}$ 以下の下部ざらめゆき層で2%に減少する。ただ、下部ざらめゆき層内でも、中程にはさまれたこざらめゆきの層では7%に増加する。

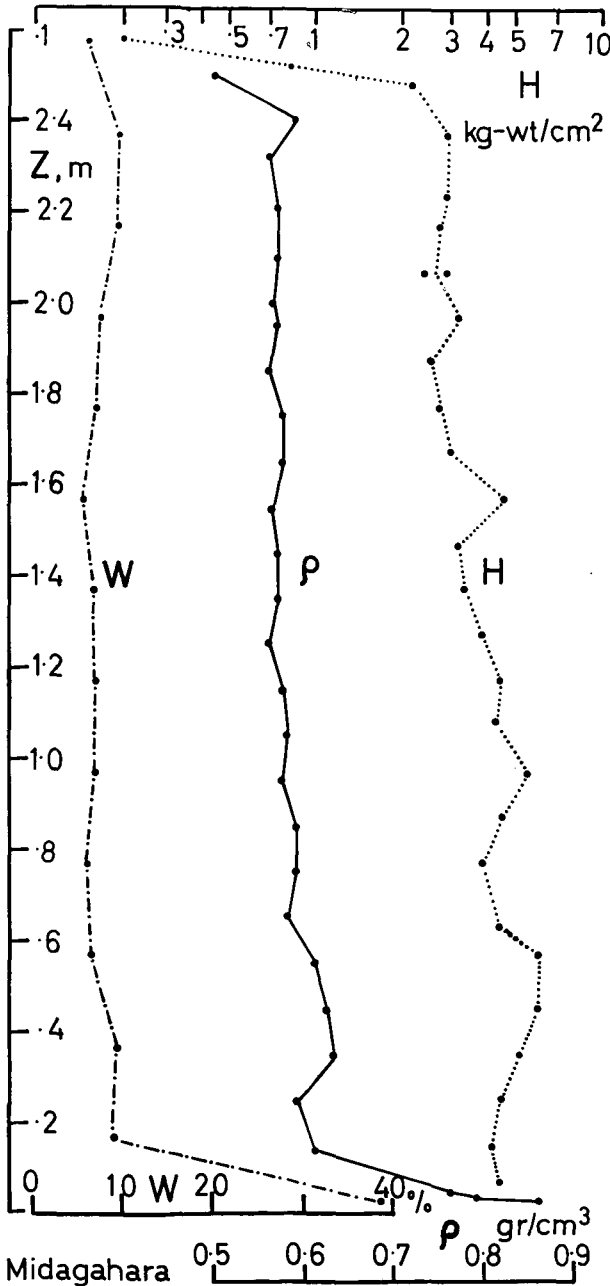
VIII. 立山の雪質

1. 構造

以上の調査地点のうち、猪ノ谷、大野も山地ではあるが、さらに山岳地帯に入った富山県の立山でも調査をおこなった。期間は山小屋が開きはじめた5月8日から18日までであった。標高1000m以下の雪はすべて消失し、標高1000mの美女平からはじまる立山高原の雪も融解期にはいつていた。調査を行なった地点は弥陀ヶ原ホテル横(標高1960m)、室堂横(標高2460m)、劔沢谷頭(標高2750m)の3ヶ所であった。劔沢の谷頭の積雪は、特殊な地形における吹だまりでその調査結果を平野部の雪のものと直接比較することは出来ない。弥陀ヶ原と室堂の積雪は平坦地の積雪で、積雪深、雪質、密度、含水率、硬度とも互に非常によく似ていた。それで弥陀ヶ原の調査結果を次にのべる。調査は、弥陀ヶ原ホテルの西方約70mの地点で、5月11日、12日におこなった。

積雪は厚さ2m57cmで全層ざらめゆきからなり、1~2mmの厚さの氷板をふくんでいた。鉛直断面には、インクで着色しても、2月に平野部の各地の雪にみられたような層構造はみとめられなかった。さらに、弥陀ヶ原、室堂、劔沢のいずれの地点においても、着色線はみと

められなかった。ただし、このことは着色線が存在しなかったことを、必しも、意味しない。前にも述べたように、着色線はしまりゆきに入っている時には、幅のせまい色の濃い明瞭な線となるが、しまりゆきがざらめゆきに変化するにしたがい、線の幅が広がり、色が淡くなって、発見が非常に困難になるからである。



第6図 立山弥陀ヶ原, 5月11, 12日, 積雪深2 m 57 cm

2. 硬度, 密度, 含水率

第6図に硬度 H , 密度 ρ , 含水率 W の鉛直分布がしめしてある。硬度 H は雪面における 0.2 kg-wt/cm^2 から始まり、雪の深さがますとともに増加し、地上高 $Z = 1 \text{ m}$ で 5.5 kg-wt/cm^2 , 50 cm で 6 kg-wt/cm^2 に達した。この値は、ざらめゆきとしてはかなり大きな値である。しまりゆきがざらめゆきに変化すると、 H は一般に低下する。立山の雪が、融雪期以前、しまりゆきであった頃は、下層の雪の H の値は非常に大きなものであったろう。

密度 ρ は、全層を通じて非常に一様な値 $0.57 \sim 0.58 \text{ gr/cm}^3$ であった。ただし、地面に接して氷板があったため、氷板の上に水がたまり、地上 10 cm 以下の ρ は特に大きな値をしめた。含水率 W は、特に大きな値をしめた地上 10 cm までの部分を除けば、 10% 以下である。

IX. 降雪日の推定

第1図より第6図迄には、積雪断面にあらわれている雪について、推定される降雪日が記入してある。この推定は、密度分布より求めた積雪水量と、各地で毎日観測された降雪水量の積算を比較することによっておこなわれた。長岡の場合を例にとって、この推定法を説明する。

第1図の密度分布の曲線と、 $\rho = 0$ を通る縦軸とで左右を境され、地面と積雪面とで上下をはさまれた面積を求めれば、調査をおこなった2月7日の全積雪水量が求められる。第1表「(A)密度より」の列にある953 mmがこのようにして定めた全積雪水量である。

一方、調査を行なった地点の近くにある積雪科学館では、雪量計を用い、毎日の降雪水量が観測されていた。根雪の日以来、2月7日迄の降雪水量の積算を求めたら、第1表「(B)降雪水量の積算より」の列にある976 mmがえられた。

第1表 密度測定及び降雪量の観測より求めた積雪水量の比較

		積雪水量 (mm)		$\frac{B-A}{A} \times 100$
		(A) 密度より	(B) 降雪量の積算より	
長	岡	953	976 (1)	2.4
富	山	586	634 (2)	8.2
猪	ノ 谷	532	512 (3)	-3.8
福	井	606	740 (4)	22.1
大	野	809	830 (5)	2.6
弥	陀 ケ 原	1530		

- (1) 積雪科学館の観測資料による
- (2) 富山地方気象台の観測資料による
- (3) 細入気象通報所の観測資料による
- (4) 福井地方気象台の観測資料による
- (5) 大野気象通報所の観測資料による

このようにして求めた積雪水量のふたつの値は、長岡ではよく一致し、2つの値の関係誤差、 $(B-A)/A$ は2.4%にすぎない。同様の計算を他の場所についても行い、その結果を第1表にかかげた。(A)、(B)の値の一致のよいのは、長岡、猪ノ谷、大野で、富山では8.2%、福井では22.1%のちがいがあらわれた。長岡、富山、福井は平野部にあり、調査は長岡、富山、福井の順におこなわれたが、(A)の値と(B)の値との差は調査のおくれた所ほど大きい。これは融雪によって、雪どけ水が流出した結果(A)の値が小さくなったためであろう。猪ノ谷、大野は山間部なので、融雪は少なく、積雪水量の2つの値はよく一致している。一般に雪量計による降雪水量の測定値は信頼度が低いとされているが⁹⁾、少なくとも今回調査された各地の雪量計の示した値は、信頼性の高いものと考えてよいであろう。

次に第7図をつかい、長岡の場合について、降雪日の推定法をのべる。

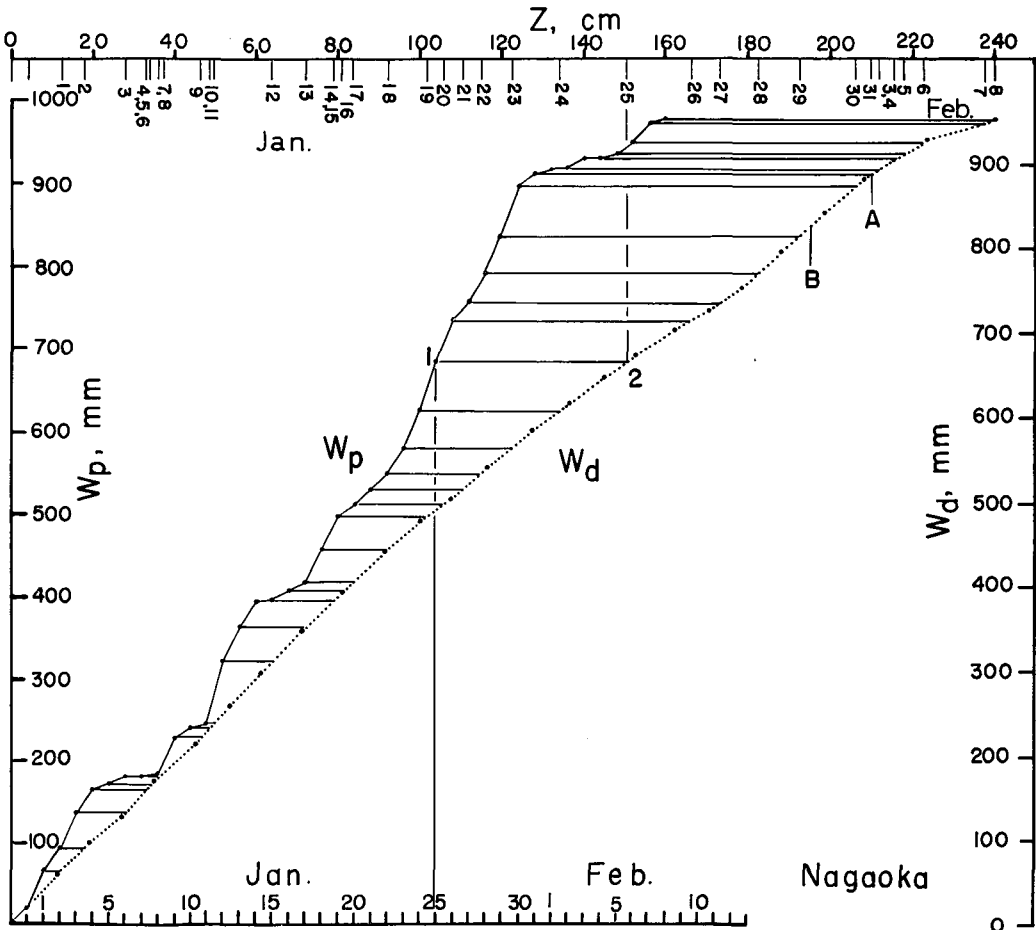
第7図の実線 W_p は長岡の毎日の積算降雪水量の曲線で、雪根の初日12月31日以後の日付を表す下の横軸に関して書いてある。点線 W_a は全積雪をほぼ10 cmの層に分けて各層の水量をもとめ、接地層の水量から順次上層へと積算した積雪水量である。上の横軸、すなわち、地面からの高さ Z に関して書かれている。

根雪の日以来、ある日までに降った雪が、そのまま次々と地上に蓄積されているならば、その日付迄の W_p の値にひとしい W_a をもつ Z が、この日までにふった雪の2月7日における高さとなる。しかし、第1表に示めされているように、2月7日における W_a の値(A)は、

その日における W_p の値 (B) よりも 2.4% 小さい。このちがいが何によっておこったかわからかでないの、今かりに、毎日の降雪よりも 2.4% 少ない雪が積雪として蓄積されたと仮定する。

上の仮定は、第 7 図の上では、右側の W_d の目盛り幅を、左側の W_p の目盛り幅よりも 2.4% 大きくすることによってあらわしてある。このため、2 月 7 日における W_p と W_d とを結ぶ線は水平になる。

第 7 図を利用して、降雪日の推定は次のようにして行なわれる。例えば、下の横軸の 1 月 25 日にあたる点から鉛直線をたて、 W_p の線との交点 1 をもとめ、交点 1 より水平線を引いて W_d との交点 2 をもとめる。交点 2 を通る鉛直線と上の横軸との交点にあたる Z が 1 月 25 日に降り、2 月 7 日の密度測定をおこなった時に断面にあらわれた雪の地面からの高さである。



第 7 図 降雪日の推定、積算降雪水量 W_p と積雪水量 W_d との比較による。下の横軸は根雪以来の日付、左の縦軸は降雪水量、曲線 W_p は根雪以来の毎日の降雪水量の積算をしめす。上の横軸は地上高 Z 、右の縦軸は積雪水量、曲線 W_d は積雪を高さ 10 cm 毎の層にわけ、別層に下層から上層に向かって積算した積雪水量をあらわす。長岡の例

このような操作を各日付についておこなえば、各図に附した推定降雪日を得られる。

W_a と W_p の目盛り幅をひとしくとり、 W_p と W_a の曲線の頂点を結ぶ線に平行に交点 1 から線を引き交点 2 をもとめる方法も考えられる。しかし、こうすると、ある期間降雪がなく、 W_p が水平になっている時でも、推定日の方には降雪があったことになったり、あるいは、日付の先の雪の下に入ったりすることがおこる。

X. 着色線の日付

2月に調査した各地の雪にはうす茶色をした着色線が見出されたが、富山県西赤尾総合気象観測所、同県砺波(となみ)観測所、福井地方気象台では1月30日の午前、富山県細入気象通報所では1月27日に雪面の着色を観測した。細入は猪ノ谷の属する村の名である。

第 III 節でものべたように、雪の着色はかなり広い地域にわたって、同時におこなわれるので、雪面の着色が観測されなかった地方でも実際には着色があったと考えてよいであろう。ざらめゆきの場合には、着色がうすいので、見すごされる場合が多いからである。

積雪の調査で着色線の日付が1月29日の朝から30日の朝迄と推定されたのは、長岡の2本の着色線のうちのA線、富山、福井の着色線である。したがって、これらの地方における降雪日の推定はほぼ正しいものと考えて差支えがない。

一方、細入では1月27日朝の観測で雪面の着色を観測したのに対し、同じ村内の猪ノ谷の降雪日の推定では、2本の着色線のうちA線が1月23日朝から24日朝迄の間、B線が1月17日朝から18日朝迄の間である。また、大野では、3本の着色線のうち、A、B線が1月28日朝から29日朝迄の間、C線が16日朝から17日朝までの間となる。

猪ノ谷、大野は山間であつて、積雪のざらめ化も少く、降った雪がそのまま蓄積されていたと考えられる場所である。事実、第1表にみられるように、密度分布から求めた積雪水量と降雪水量の観測から求めた積雪水量とがよい一致をしめた場所であつた。したがって、推定日の確実性は高いのであるが、着色線の推定日と実際に着色が観測された日とはくいちがつてしまった。ただ、大野のC線と猪ノ谷のB線が1日ずれていることから、大野の推定日を1日ずらし、大野のC線が17日朝と18日朝の間にくるようにすることが出来れば、大野のA、Bの線も他の場所とおなじ29日朝から30日朝の間となる。

XI. 1月末における雪質

今回の豪雪では、各地とも、1月末に最深積雪を記録したが、2月以後は降雪がきわめて少く、気温の上昇で融雪がはじまったために、積雪深は急速に減少した。この推移は各地の気象台の記録によって確めることが出来る。福井地方気象台、敦賀測候所、大野気象通報所では1月12日以後ほぼ4日毎に雪質、密度の鉛直分布の観測、測定をおこなつた。その報告⁹⁾によると、福井では1月31日には、地上66cm迄がざらめゆきで、その上1m68cm迄しまりゆきがあり、しまりゆきの上に27cmの厚さの乾いたしんせつが積っていた。ざらめゆきは1月12日の雪にすでにみられ、根雪の初期に早くも形成されていたのである。今回筆者らが調

査した2月7日～17日には、各地とも積雪は、上部と下部はざらめゆき、中央部はしまりゆきの3層構造をなしていた。しかし、最深積雪の1月末には、1月上旬につくられたざらめゆきの上に、しまりゆきの層が積っていたのである。しまりゆきは、北海道や本州の山岳地帯では最もよくみられる雪であるが、温暖な北陸平野では珍しい。北陸地方に最も多い水分をふくんだざらめゆきにくらべると、硬度が大きくて丈夫なため、機械的除雪の困難な雪である。このしまりゆきが鉄道、道路の除雪をおくらせた1つの原因をなしたにちがいない。

このたびの調査に当っては、各方面から援助をうけた。とりわけ、高沢新潟大学工学部長はじめ同工学部の方々、盛田積雪科学館長はじめ同科学館の方々、古川積雪連合研究部長、小笠原富山大学教授、中川同大学助教授をはじめ同大学の方々、福田富山地方気象台長はじめ同気象台の方々、宮本国鉄富山保線区長、丸山同保線区助役をはじめ同保線区の方々、猪ノ谷保線区の方々、長谷川福井大学学長、塚野同大学教授をはじめ同大学の方々、三宅福井地方気象台長はじめ同気象台の方々、大野市下庄小学校の方々にお世話になった。ここに記して感謝の意を表す。

この調査は昭和38年1月豪雪調査のため、特に支出された、文部省科学研究費によっておこなわれた。

文 献

- 1) 木下誠一 1960 積雪の硬度.I. 低温科学, 物理篇, **19**, 119-134.
- 2) 吉田順五 1959 積雪含水率測定用熱量計. 低温科学, 物理篇, **18**, 17-28.
- 3) 木下誠一・若浜五郎 1959 アニリン固定法による積雪の薄片. 低温科学, 物理篇, **18**, 77-96.
- 4) 藤岡敏夫 1961 積雪観測法 (1). 雪氷, **23**, 1-5.
- 5) 吉田作松 1961 雪の観測について. 雪氷, **23**, 20-29.
- 6) 福井県防災会議・福井地方気象台 1963 福井県豪雪調査報告, 昭和37年12月31日—昭和38年2月3日, 及び同報告追録, 昭和38年2月3日—2月28日. 尚この報告のうち雪質調査の分は「雪氷」に転載の予定.

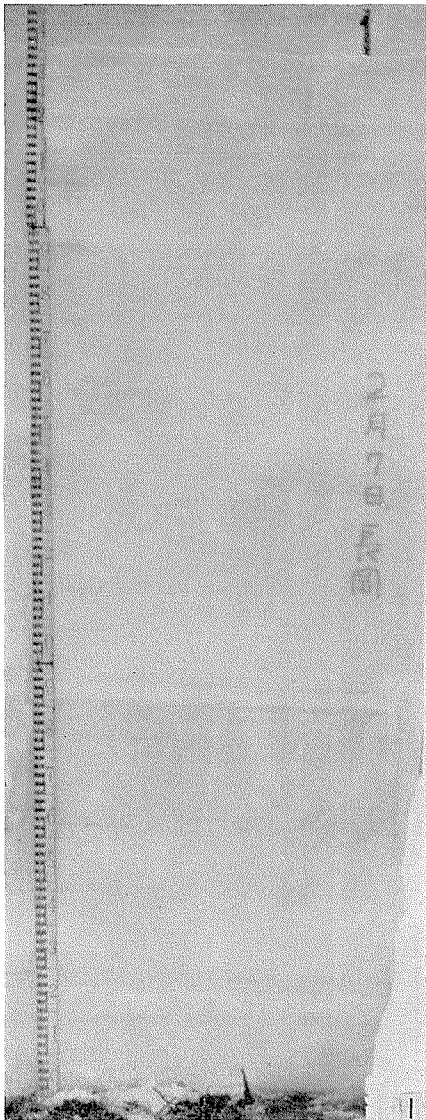
Summary

In the later half of January, 1963 the snowfall in the coastal districts of the Sea of Japan was extremely heavy. At the end of that month the depth of the snow cover exceeded any recorded by the meteorological stations during the preceding 50 years. In the middle of February the authors studied the various characteristics of this snow cover at Nagaoka, Toyama, Inotani, Fukui and Ōno. This research involved the layer structure of the snow cover, the microscopic texture of each layer, the vertical distribution of the snow density (ρ), the free water content (W) and the hardness (H).

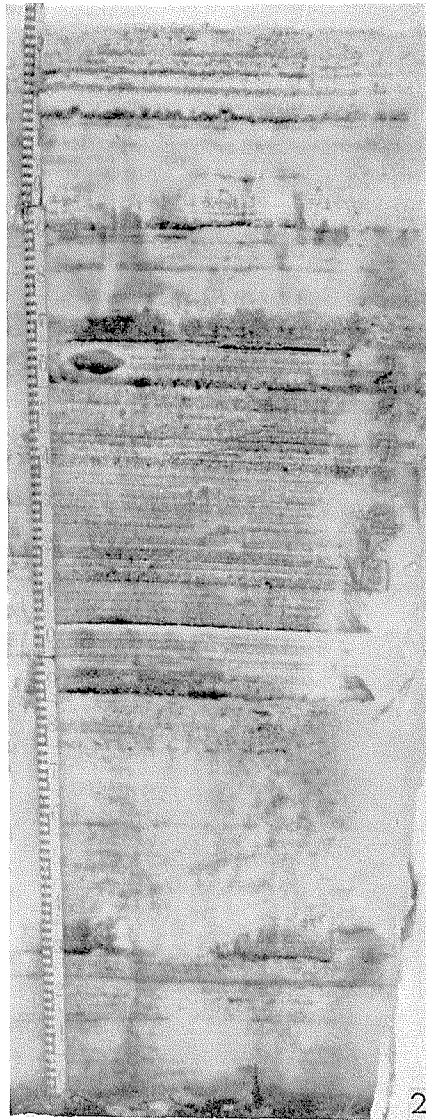
The characteristics of the snow cover are illustrated in Figures 1 to 5 of the text. In each figure the layer structure of the cover is illustrated by the column to the right in which the shaded parts represent granular snow and the unshaded parts, compact snow. The values for H (hardness) were highest in the lower part of the compact snow. The difficulties of mechanical removal of the snow from roads and railroad tracks were of course increased by this increased hardness.

The layer, coloured light brown by fine sand carried from the Mongolian Desert by the wind, were found in the snow cover. These layer are indicated in the columns by dotted lines marked A, B, C.

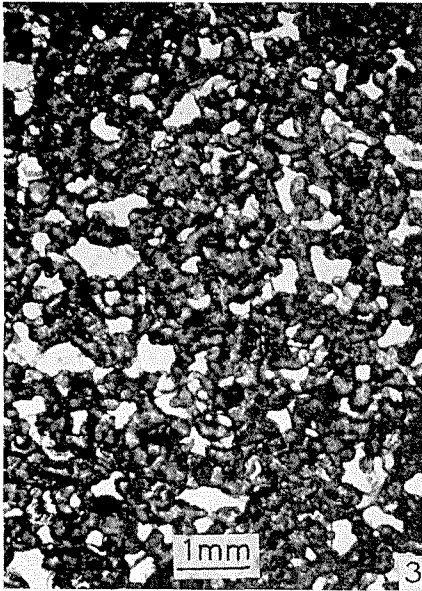
At each of the above mentioned places, the water equivalent of the snow cover was calculated from vertical distribution of the snow density and it was found to be in agreement with the total amount of snowfall as observed at the meteorological stations. The authors used these data to determine the date of precipitation which formed each of the layers of the snow cover and these dates are indicated in the figures to the right of the columns.



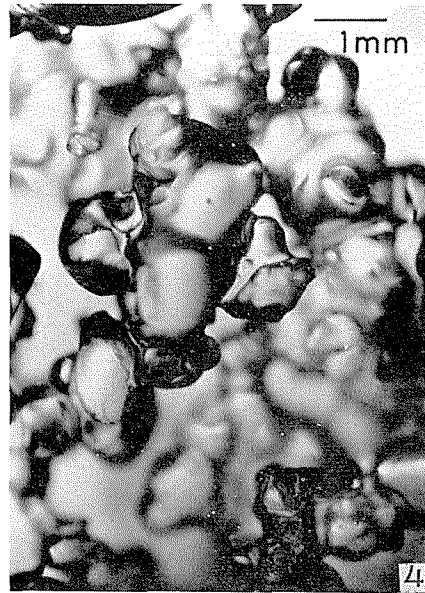
I-1. 長岡の積雪断面, 2月7日, 積雪深 2 m 41 cm



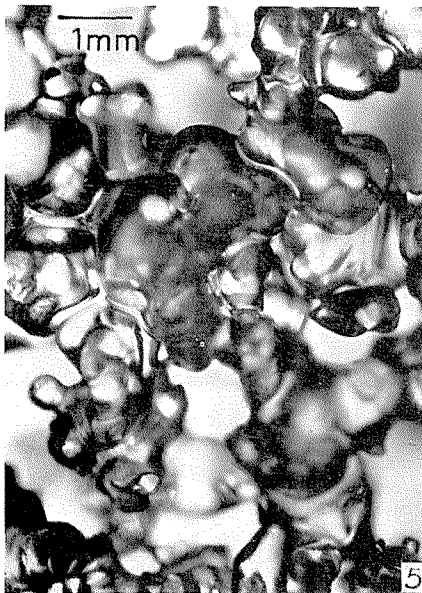
I-2. I-1 の断面をインクで着色



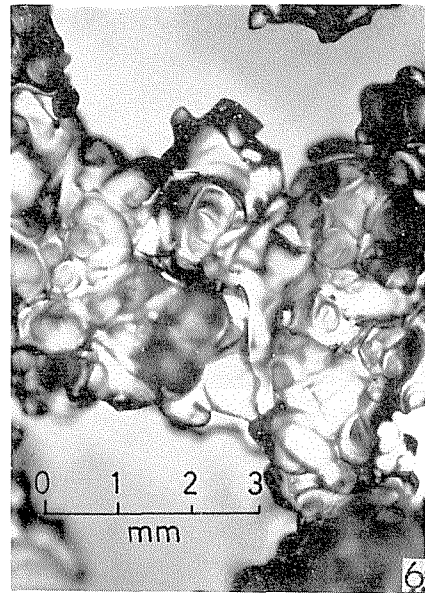
II-3. 長岡, しまりゆき, 地上高
1 m 5 cm.



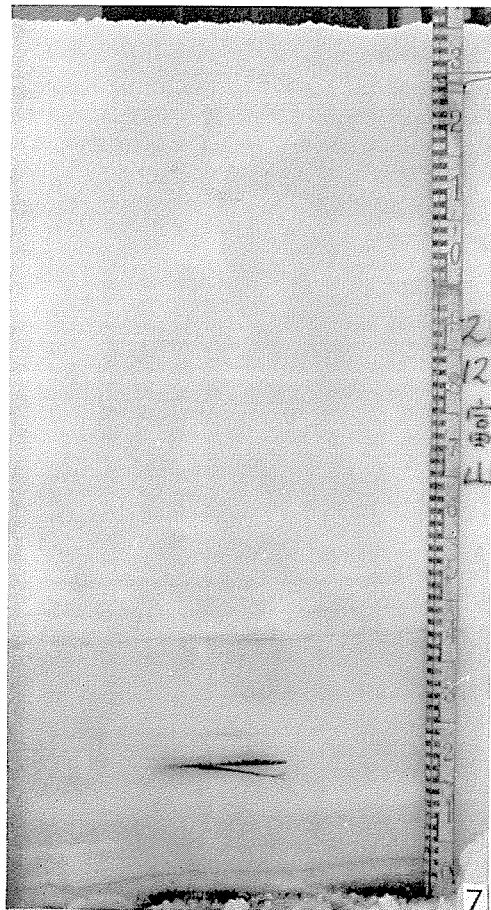
II-4. 長岡, こざらめゆき, 地上高
2 m 10 cm.



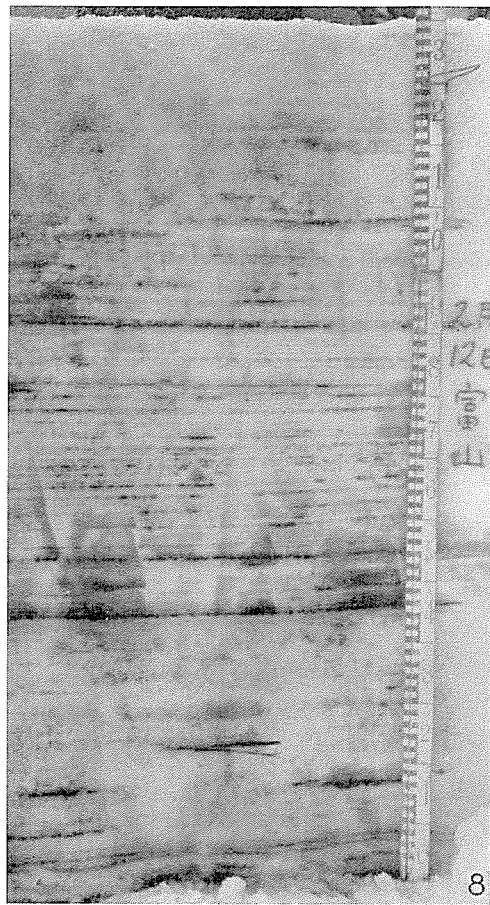
II-5. 長岡, おおざらめゆき, 地上
高 2 m 10cm



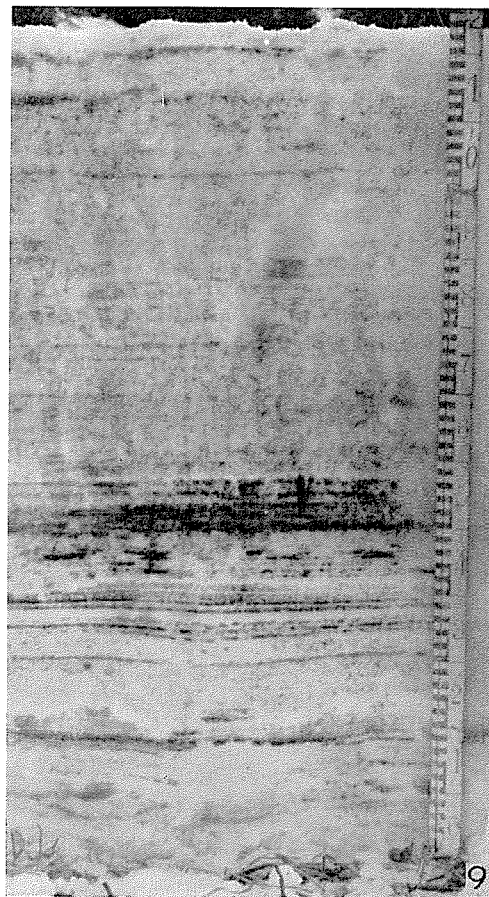
II-6. 長岡, おおざらめゆき,
地上高 90 cm



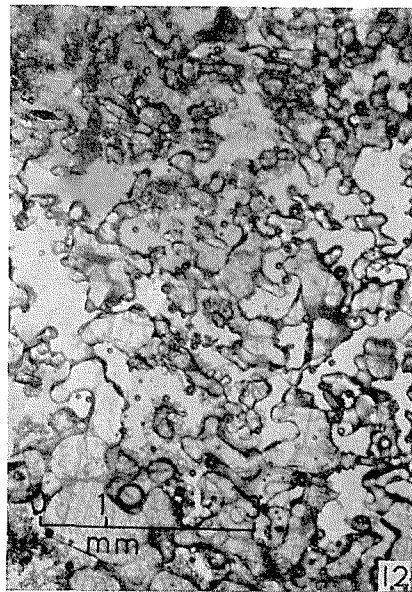
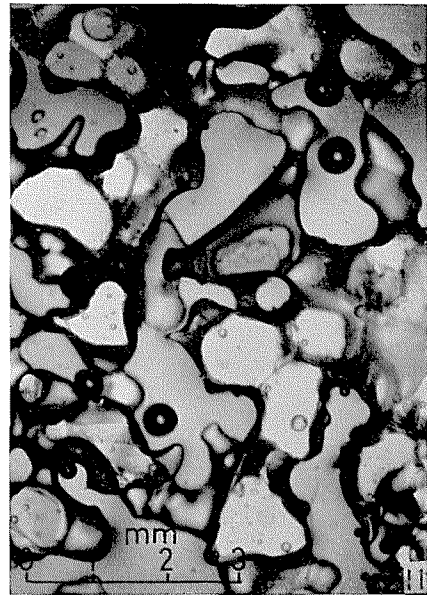
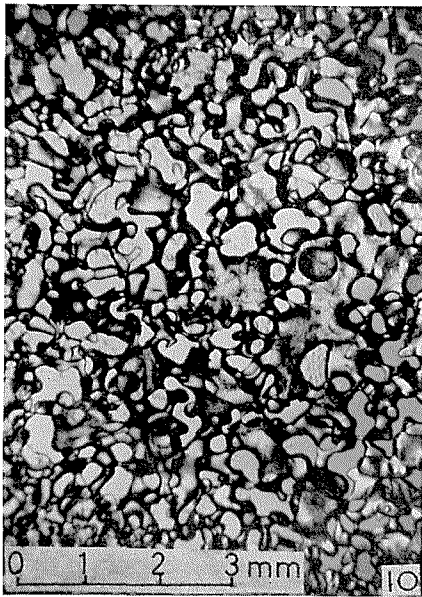
III-7. 富山の積雪断面，2月12日，日かげ
積雪深 1 m 41 cm



III-8. III-7の断面をインクで着色



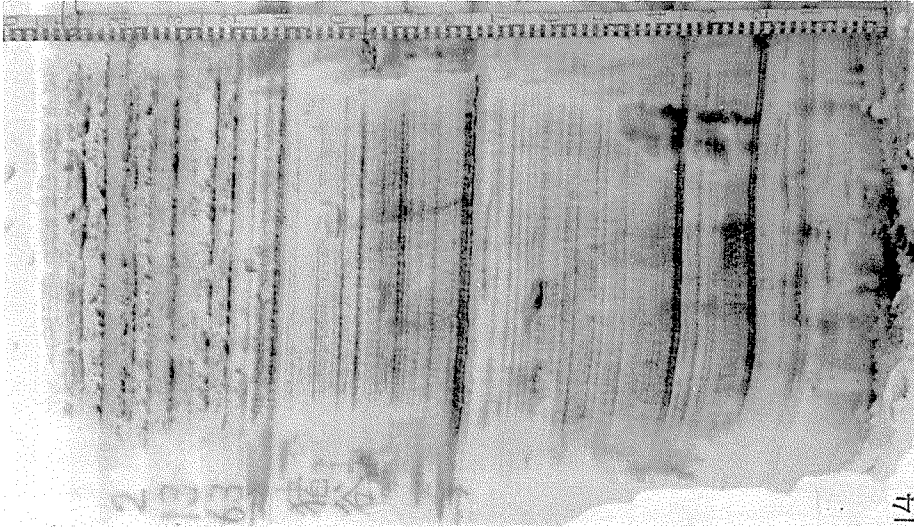
III-9. 富山，日あたりの雪の断面，インクで
着色．2月11日，積雪深 1 m 24 cm



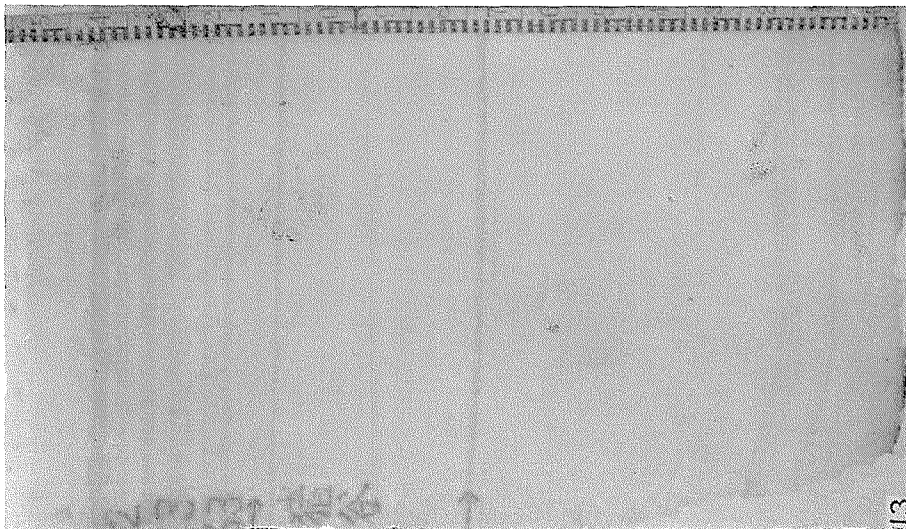
IV-10. 富山, しまりゆき, 地上高 20~25 cm

IV-11. 富山, ざらめゆき, 地上高 20~25 cm

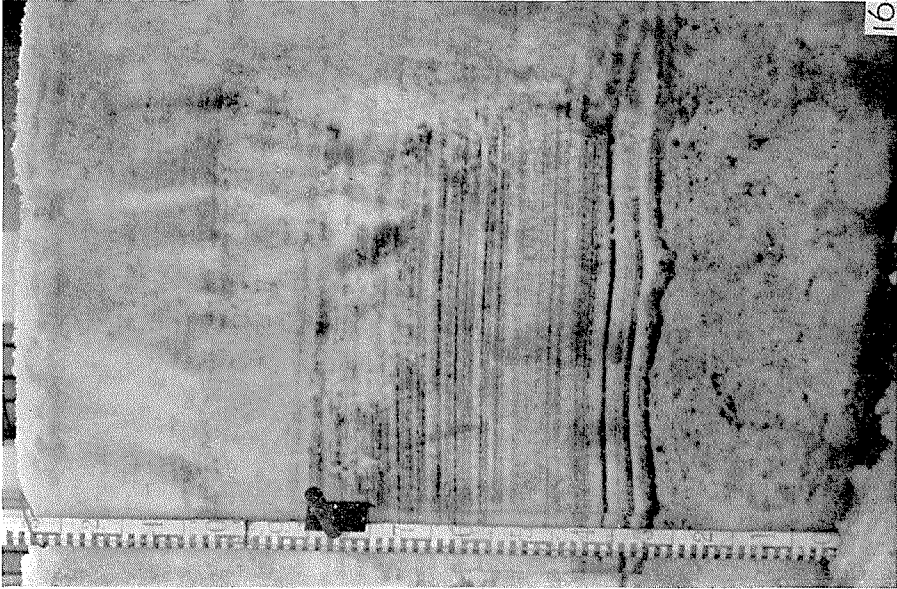
IV-12. 富山, しまりゆき, 地上高 50~55 cm



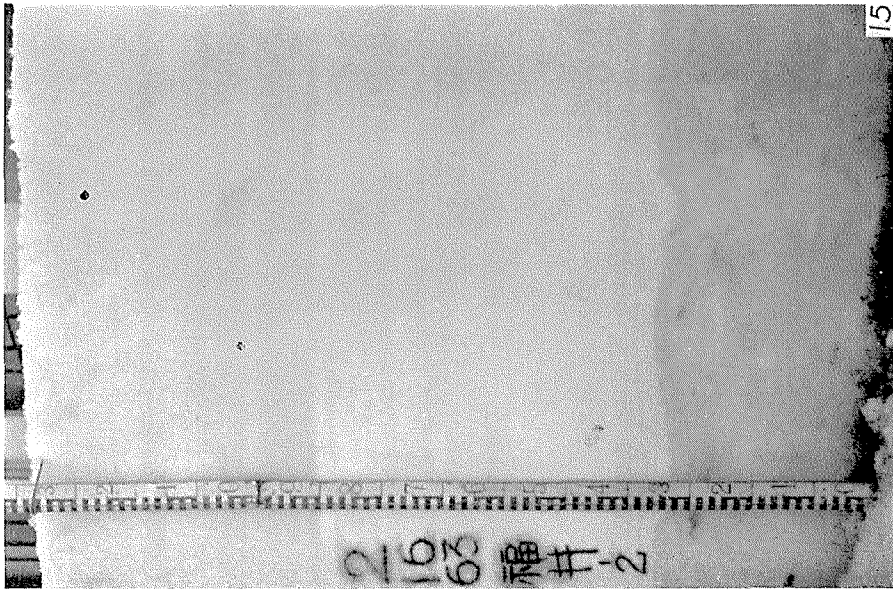
V-14. V-13 の断面をインクで着色



V-13. 猪ノ谷の積雪断面, 2月13日,
積雪深1m 61 cm

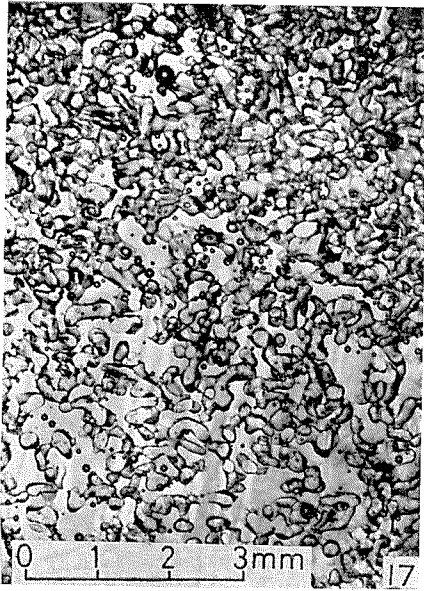


VI-16. VI-15の断面をインクで着色

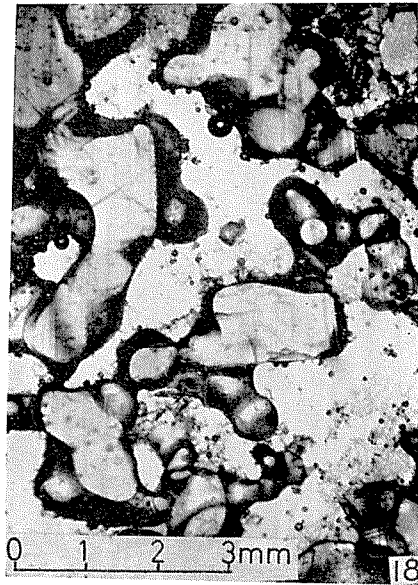


VI-15. 福井の積雪断面。2月16日、積雪深1m37cm

福井の積雪組織



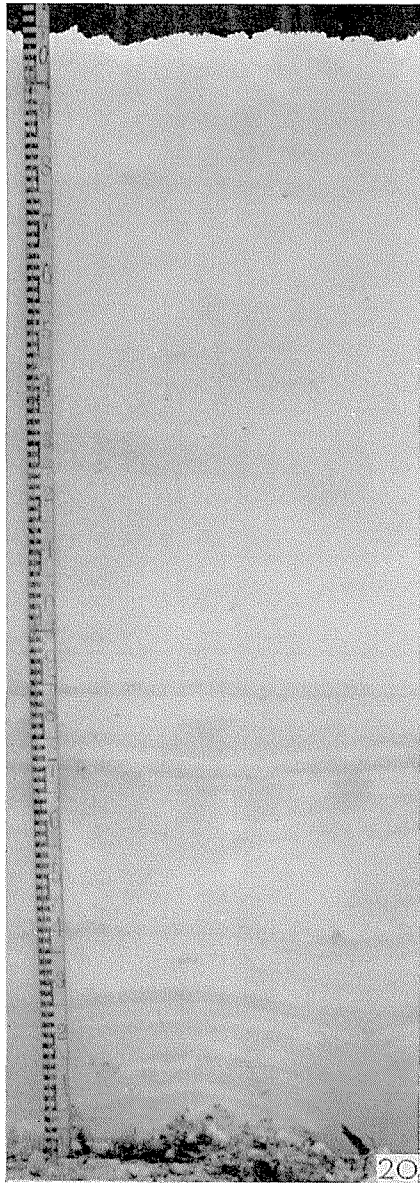
VII-17. しまりゆき, 地上高 80~90 cm



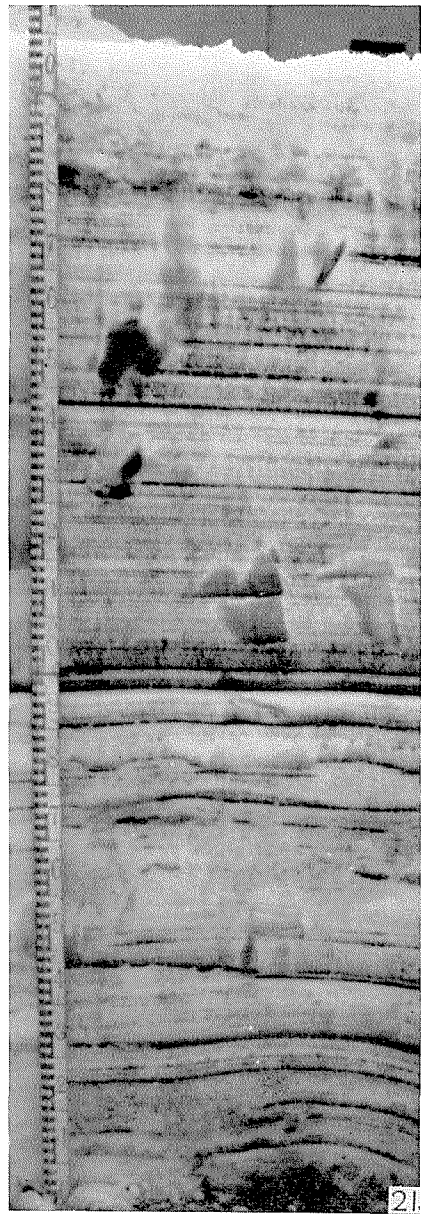
VII-18. ざらめゆき, 地上高 90~100 cm



VII-19. ざらめゆき, 接地層



VIII-20. 大野の積雪断面, 2月17日,
積雪深 2 m 10 cm



VIII-21. VIII-20 の断面をイコンで着色