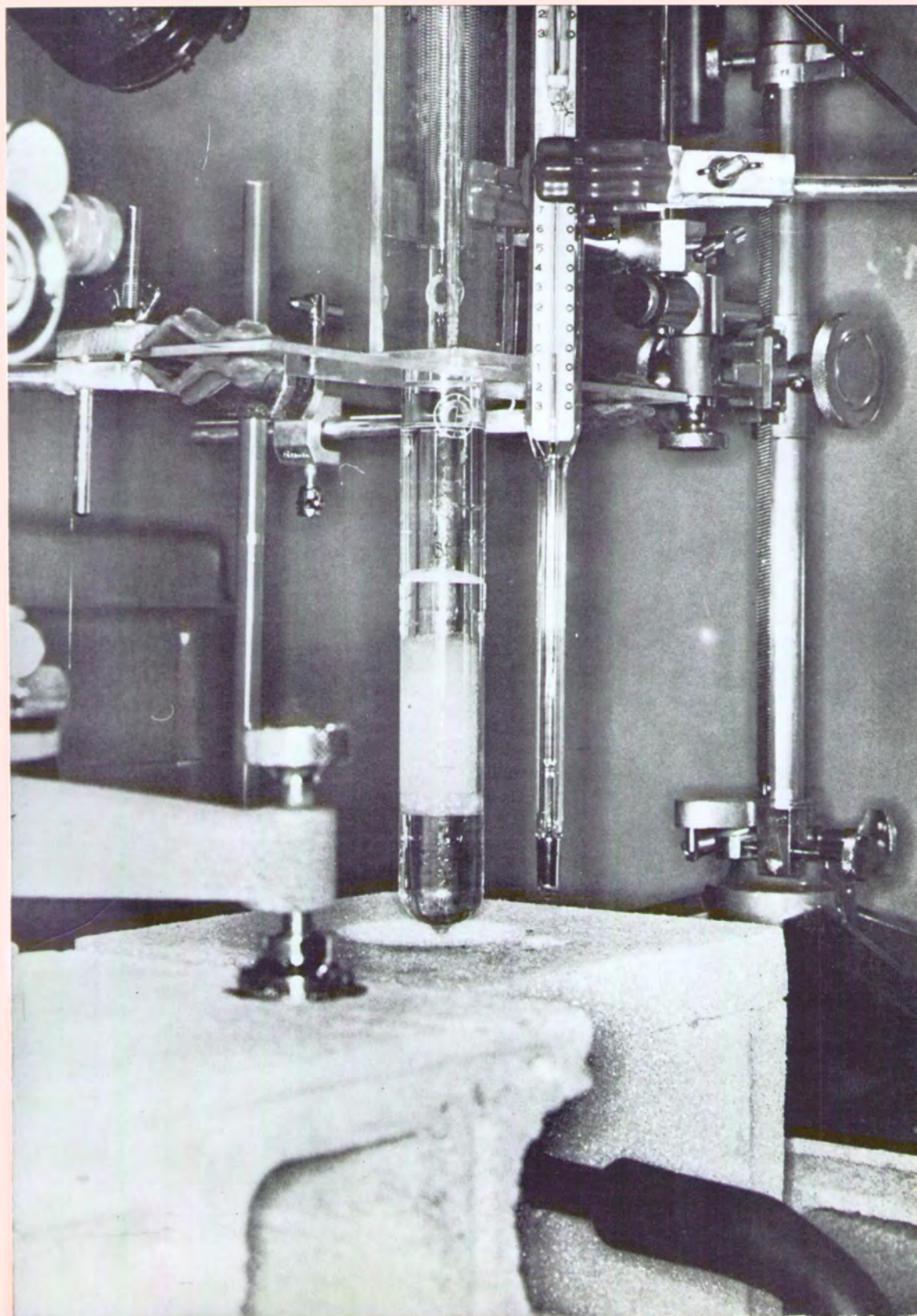


科学技術庁 国立防災科学技術センター

雪害実験研究所開設5周年記念号



## も く じ

記念号を出すにあたって .....	寺田一彦・1
五周年を迎えて .....	和達清夫・2
雪害実験研究所開設5周年を迎えて .....	佐藤貞三・3
雪害をなくする道 .....	斎藤博英・4
斜面の積雪流動 .....	山田 稜・6
積雪の含水率の計測 .....	木村忠志・8
道路の雪 .....	長田忠良・10
軟らかい氷, 固い氷 .....	中村 勉・12

## 表紙写真: 積雪含水率基準計測実験装置

表紙写真は変相浮力差法(本文, 積雪の含水率の測定, 参照)による積雪含水率の基準計測装置の主要部分で,  $-1^{\circ}\text{C}$ の低温実験室内に設置されている。中央のケロシンを入れた大型試験管(測定槽)内に, 試料の積雪を入れたバケツをスプリングで吊し, 右側のカセットメーターでスプリングのノビ量を測定する。

この状態で下方から可変恒温槽をセリ上げて測定槽をその中に納め, 試料中の水の部分を変相させて, 体

積変化によって生ずる浮力差を, スプリングのノビ量から測定して含水率を求める。

変相浮力差法では, 試料に含まれる空気の処理がひとつの難関になるが, この装置では, プラスチックのバケツにアワ受けのドームをつけて空気の離脱を防止し, 空気の影響をほぼ補正できる見通しを得ている。

## 記念号を

## 出すにあたって

所長 寺田一彦



積雪の層

昭和38年の北陸豪雪は、何と云っても長岡の雪害実験研究所設立の引き金になったことは否めない。

北陸豪雪の際には、東北地方から中部地方にかけて広い範囲に予想外の雪害が起り、雪害克服の要望が各方面で高まってきていた。この年に長岡は3mを越す積雪にみまわれてしまった。この長岡はそれより前に消雪パイプの実験もしており、雪害克服に非常に熱心であった。こういう背景があったからこそ、当センターの出先機関の一つとして、長岡に実験研究所が、新潟県はじめ各方面のお力添えによって、できるようになったのは、自然のなりゆきと言えないこともない。

早いもので、それからすでに5ヶ年を経過し、この間研究人員も着々と増員され、研究施設も整備されてきて、各方面の要望に応えることができるようになってきた。

この研究所は現在三つの研究室を持っており、いずれも有能な研究者が活躍しているが、その研究の一部は国際的にも高く評価されている。昨年来日したスイスのデュケルバン博士は現地を視察し、スイスの自分の「雪及びなだれの研究所」と比べて施設などとても立派で、ここならば十分研究できるだろうとほめていたくらいである。

現在この研究者の一人がカナダのオッタワの雪氷研究室で雪の物理の問題と取り組んでおるが、これなどは当雪害実験研究所が国際的に高く評価されている一つの証拠である。

私はついこの間アメリカ各地の防災関係一般の

研究機関等を見てまわってきたが、どの研究機関でも、かなり備った研究所案内のようなものを数多く出しており、それに相当のお金をかけていることがうかがわれる。

これに反して、当防災センターはこういう面がいままで非常に低調であったように思われる。研究者自体は自分の研究を学会誌方面を通して発表すればよい訳であるが、これをとりまとめている研究機関という立場からすると、もっと研究の概要、施設の様相とかを広く知らせて、研究の結果等が十分活用されるような方式をとる必要があると思われる。

こういう意味で今回防災科学の一冊に長岡の五周年の記念号がでるということは、大変好ましいことであり、ぜひこういう研究概要というようなものを関係方面に配布して、十分認識をあらたにしてもらいたいものだと思う。

雪害については日本ほど、広範囲に又、長期に亘っている地域は世界のどこにもないと思われるので政府も雪害対策には非常に熱心で、ちょうど長岡の雪害実験所の五周年の年に当って、もう一つ山形県の新庄に雪害研究を中心にした支所が作られたということは、記念すべき事柄である。

したがって、この次に長岡の十周年記念号を出す時には同時に新庄の五周年の記念号が出る形になるので、その頃には日本の雪害対策は格段の進歩をしているものと、今から大きな期待を持って、長岡、新庄の発展を見守りたいと思う。

国立防災科学技術センターが設立されたのは昭和38年の春であるが、この年の1月には日本海側に豪雪があった。この豪雪が同センターの設立を促したといってもよいであろう。同センターが設立されて、時を移さず、雪に関する研究所を多雪地帯のどこかに設けたいと願ったのは、雪の科学的研究の中心となる国立研究所の設置が一般からも研究者からも望まれていたからである。

幸いに、政府当局、多雪地帯の方々、そして雪に関する研究者・技術者の強い支持を得て、昭和39年の末に長岡市の東郊栖吉の丘の上に、雪害実験研究所を建設し開所することができた。開所の日に雪の降りしきる中を、県知事はじめ多くの来賓を迎えて新庁舎で式をあげたことなどの思い出もすでに5年前のこととなった。

本所の施設・設備については、近代的な研究にふさわしい低温実験室や諸種の試験施設を建造していった。研究者としては、令名のある斎藤博英君を所長に迎え、同センターからは福井篤君らが参加して、ここに陣容も一応ととのった。特に福井君は最初より本所の建設計画にあたり、寝食を忘れるほどの努力をつづけたが、本所がようやく軌道に乗ろうとするころから不幸にして健康を害し、ついに昭和42年5月不帰の客となられたことは、痛嘆にたえないところである。同君が研究者として学界に貢献された数々の業績に加えて、本所に尽くした大きな功績は忘れることができないものであろう。

わたくしは、本所設立後2年で同センターを辞することとなったが、その後も本所を訪れる機会を得て、それが着実に力強く発展しているのを見て、心よりうれしくまたなつかしく感じた次第である。斎藤所長のもとに有力な研究陣をつくられ、多くの貴重な研究をなして、また全国の研究者により研究の場をつくっている。いま5年の歳月を経て、本所設立の目的は十二分に果たされていると信ずる。

思うに、日本の国土の半分は多雪地帯である。そこでは人々は年ごとに雪と戦い、雪の中で生活

している。年によっては豪雪に見舞われ大きな被害を受けつつも、それに屈せず雪害に対処し、よき国土を造るために不断の努力をつづけている。しかし、わが国の政治・経済の中心は、どちらかといえば雪の少ない地帯にあるため、雪の問題は、とかく十分に考えられないうらみがあった。しかし、近年に至ってようやく、雪に対する関心が深まり、特に雪害対策に関する法律の改正や施策が行なわれるようになった。特に豪雪といわれるものは、数年に1度、特別の豪雪においては10年、20年に1度といえる自然現象であるため、台風などのように毎年何個も強烈なものが来るといふものところが、常時緊張してこれに備えるということが難しい。しかし、ひとたび豪雪に襲われた

場合には、国土の広い範囲で受ける雪の被害は、直接・間接のものを加えればばく大なものとなり、台風や豪雨の災害に譲らない。日本の気象が複雑多彩であるのは、このようなことを指さすものであり、日本の自然災害において雪害の位置は十分認識されるべきものである。

日本の、特に日本海側の雪は、雪量が多く、そして種々の特徴を持つ暖国的性質のものである。その雪害対策はわが国独得のものを必要とする。一方、雪は水資源において大きな役割を果たしている。近来水の問題が国として、そして世界的に重要

な課題となりつつあるとき、雪はその中で大きな役割を持っている。雪が、われわれに与える自然の恩恵であることを十分に受け、そして雪より生ずる災害を極力防止軽減することこそ、われわれの課せられた務めでなければならない。

近代の科学技術が、人々の幸福のため、新しき発展を目ざしている今日、雪に対する科学研究を進め雪害を防ぐことは、われわれの当然の責務であり、ここに本研究所設置の意義がある。いま本所設立五周年を迎えるにあたり、その経過を振り返り、今日までの、関係者の尽力を深く感謝するとともに、今後の発展を心から願ってやまない。

## 五周年を 迎えて

埼玉大学長

和達清夫

\* 国立防災科学技術センター初代所長

## 雪害実験研究所開設 5 周年を迎えて

新潟県企画部長 佐藤 貞三

長岡市に雪害実験研究所が設置されてから、はやくも 5 周年を迎えるにいたりしました。5 年という年月は必ずしも長年月とは申せませんが、この間幾多の貴重な研究成果を挙げられ、それらの研究は豪雪地域における産業、民生安定等広範な面にわたって根を下ろし生かされつつあります。

昭和 35 年～36 年の新潟地方を襲った豪雪ならびに 38.1 豪雪と呼称された北陸地方から西日本一帯にかけて襲来した豪雪は、これら地域の交通を長期間にわたり混乱せしめ、社会経済、住民生活に多くの問題を投げかけました。

一方、近時の国民経済の発展と市場の飛躍的拡大は、国土全域の均衡ある発展が志向され、豪雪地帯であることの旧態依然とした放置は許されない情勢でもあります。

こうした背景もあって、昭和 37 年には豪雪地帯対策特別措置法の制定、昭和 39 年の雪害実験研究所の新設等をはじめとして、道路除雪、消・流雪施設の増強等政府の豪雪地帯に対する姿勢にも積極性がうかがえるようになりました。ことに、雪の防災対策の見地から、その克服の手法を究明する総合的研究機関として設立をみた雪害実験研究所の設置は、国土の 52% が豪雪地帯であることからしても国政上大きな前進であり、地域住民に喜ばしい福音をもたらしたものといえましょう。

考えますに、雪に関する研究は極めて複雑多岐であり、学問的にも広範にわたるものと思料されます。雪質が地域毎に異なり、除雪・積雪量は時々の気象状況により地理的分布も不定であり、しかも産業・人口の配置と多寡によっては影響度にも差異を生じます。また、雪氷の研究分類でも雪質・気象学といった「基礎的研究」融雪、なだれ、雪荷重等を取扱う「応用研究」さらには流雪溝、消雪パイプ、なだれ防止施設等の対策面を分野とする「施工研究」等の大別分類もされるようですが、一部の基礎的研究を除いては、未解明な分野が多いかと感ぜられます。

雪が社会経済的発展と住民生活の安定等にさま

たげとなる面はきわめて大きく、かつ、これが克服の課題のうち、人と物の流れを円滑に保つための冬期道路交通の確保は、第一義的な重要性を持つものといえましょう。

このことより、本県では道路整備の促進をはかり、しかも無雪化を期すべく無雪道路網計画の早期樹立を計画しています。また、近年の社会経済動向の一特徴とされる都市化の進展は、生活圈、経済圏の拠点である都市が果たすべき役割をより要求される傾向にあります。しかし、豪雪地帯における都市の街路、下水道、建築物等の配置、構造は、雪に勝てる近代都市からはおよそ程遠いといえます。このため、雪に勝てる都市づくりはいかにあるべきかの解明を必要とし、無雪都市構想の策定を手がけつつあります。

一方、こうした計画ならびに構想を策定するうえで、技術的経済的に究明を要する多くの諸問題が存在することの再認識を強いられています。これらの点からしても、雪に関する研究は若く新しい学問分野であるとも考えられます。反面、雪害実験研究所の調査研究に期待しているところも大きなものがあります。

幸いにして、雪害実験研究所はこの種の機関としては他に例をみないほど、気軽に広く門戸を開かれていることもあって、本県では流雪溝の構造問題、屋根雪処理の研究等々多くの問題について懇切な指導をたまわっています。今後もしいわゆる象牙の塔に墮することのない研究所であっていただきたいと願っています。

なお、これらの研究調査の相互関連と総合性を期するために、自然科学面の研究に併せて社会科学の領域に属する研究が要望されるところであります。こうした総合研究の積重ねと、それからもたらされる成果が対策面に活用されることが、雪を障害としない豪雪地帯の形成に接近するものと考えます。

雪害実験研究所がこうした方向で発展し、しかも豪雪地帯諸施策推進の媒体としての役割を果たしていただきたいものと心から期待しています。

# 雪 害 を な く す る 道

雪害実験研究所長 齋藤博英



雪害実験研究所庁舎

昭和36年・38年の相次いだ豪雪災害と、雪国の人々の大きな要望とにより、雪害対策の科学技術的研究を推進する目的を持って、当雪害実験研究所が、科学技術庁の国立防災科学技術センターの支所として発足してから、もう5年を経過した。

この5年間に、雪害に対する国、県、市町村等の対策は、それぞれに、その基本的姿勢を堅持して来たので、具体的処置において、著しい効果が積み上げられた。主要な国道はすべて舗装され、冬を通じて自動車交通が維持されるように除雪体制が充実したことは、喜ばしい限りである。

除雪にはまず道路の舗装が必要である。この経費は、しかし、誰も知る通り、非常に大きく、県道は主要な路線しかできておらず、年々僅かずつ伸ばして行くしかない状況である。また市町村道

では、市街地のみが辛じて舗装されつつあり、伸展は遅々としている。しかし、いずれも、その経済的事情の許す範囲で、ぎりぎりの努力をしており、将来の夢に力強い希望を抱いて前進しつつあることは、誠に頼もしいことである。

冬も通れる国道が常識になるにつれ、雪害対策の関心の所在が変わって来た。2年前までは「冬も自動車が動けること」が主体であったのが、今では「自動車が夏と同じように働らせること」を目標にしている。人間の願いがこのように進むのは当然のことであるが、しかし、問題は質的に異って来るので、その解決には、複雑な技術的要素と大きな経済的負担とを伴うことになる。すなわち、冬交通確保についての第2段階に踏み込もうとしているのである。交通問題がこのように進歩し

ている間には、他の面も、それぞれに進歩の道を辿り始めている。当雪害実験研究所の仕事は、このような環境の中において進められて来た。

国立防災科学技術センターが発足した昭和38年は、いわゆる38-1豪雪と命名された大雪があり、北陸地方を中心として、稀にみる大雪害を生じた。このため、当センターでは「北陸地方における主として空中写真を利用した雪害に関する基礎的ならびに応用的研究\*」を総合研究として取り上げ、建設省、運輸省、農林省、国有鉄道等の協力を得て実施した。この研究は当雪害実験研究所がまだ生まれる前の計画であったが、当所の発足と同時に、北陸地方における雪質の調査を担当した。

昭和40年春は、天候不順と低温の持続により、魚沼・会津地域では、異常残雪が災害に発展することが憂慮された。防災科学技術センターは河川水温調査会の協力を得て、この問題を総合研究\*\*として取り上げた。当研究所では空中写真による積雪分布の測量法を利用して、広域の積雪分布を調べる一方、この種災害の対策の基礎となる消雪日の推定方法の研究を行なった。

昭和40年から同42年の3年間は「多雪地帯における交通路の雪害防止に関する研究\*\*\*」が総合研究として取り上げられた。当研究所では、この中の「降雪強度測定方法に関する研究」と「高速除雪方法に関する研究」を、それぞれ運輸省気象研究所、建設省土木研究所と共に担当した。

次いで昭和43年から3か年計画で「交通路と平地の雪処理技術の開発に関する研究」が総合研究として取り上げられ、当所はその中の「積雪の融解機構の研究」と「ロータリー除雪機に関する研究」の2つを担当して、鋭意研究中である。

これら総合研究において取り上げられた研究の他に、当研究所が独自で行なって来た研究は次のようになっている。

雪害防災の種々の対策の基礎となる積雪そのものについての研究では、当研究所構内の雪について断面観測を行ない、日を追っての雪質の変化、自重による圧縮、積雪層全体の重量、含水率などについての基本的な資料を得た。また、各地方における4月初めの積雪深とその後根雪が消えるま

での日数との関係を調べた。また、ある地点の積雪深と降水量の観測値から、積雪の重量を推定する方法を研究した。

当研究所構内の斜面積雪研究施設においては、斜面積雪の底面すべり量の研究、クリープ量の測定などが、今までできなかった新しい方法で行なわれた他、この現象に関連する研究としては、積雪の透水係数、氷と金属板との接触面での低温融解現象等の研究も行なわれつつある。

次に、道路の交通確保に関連する問題では、いろいろの事項があるが、流雪溝の流雪能力の研究と流水消雪の流量と融雪能力の関係の理論を主体とした研究が行なわれた。また、岩塩や塩化カルシウムを用いて道路の凍結害を防止する方法の調査も行なった。また、路上に自動車によって圧縮・強化された特別の雪層が生じ、車の運行を害する一方、普通の除雪法では除去できないことが問題となっているので、昨冬はこの調査を行なった。

道路のガード・レールやフェンスの破損、果樹の枝折れなどの原因となる積雪の沈降力については、今までにも多くの研究があるが、不明の点が多い。当所では、この連続観測を行ない、それにもとづいて、その被害防止の方法も研究中である。

市街地の除雪の問題に関連して、屋上積雪の処理方法の研究は、最近強く要望されている。これについては、その1つの方法である電熱融雪の効果的方法を、新潟県の協力を得て行なっている。

次に、これらの研究に必要な計測器機類の開発については、まず積雪処理の自動化に関連して、積雪の比較的少ない量の変化を検知する方法を研究して成果を得た。現在は積雪中の含水率を計測する新しい方法を研究中である。

当研究所で行なわれて来た研究の主なものは上記の通りである。これらの研究は「雪害をなくする道」の極めて些細な部分を占めるに過ぎない。吾々がいくら力んでも、この膨大な道の幾つかの穴を埋めることができるだけである。しかし、各方面の方々の同じような努力の集積は、やがて希望に輝く道を造りあげてゆくに相違ない。こんな期待を抱いて、1穴ずつを埋めることに、今後とも全力を尽くす覚悟である。

\* 防災科学技術総合研究報告第2号、第3号、第4号および第10号

\*\* 防災科学技術総合研究報告第10号

\*\*\* 防災科学技術総合研究報告第21号

# 斜面の積雪流動

雪害実験研究所第1研究室 山田 穰



雪害実験研究所の研究用斜面

極地や高山の万年雪は、厚く積り氷と化して氷河となり雪線の下方面まで流れてくる。この氷河の運動の研究は18世紀後半、アルプスの山岳氷河で始められ、現在では塑性学をとり入れた氷河運動理論にまで発展し、一般にもよく知られた現象である。これに対し斜面の積雪の研究は遅れ、防災技術の開発を目的とした本格的な研究に着手されたのはようやく1930年代のスイスにおいてであり、斜面の積雪が常に流動していることは氷河ほどには知られていないようである。氷河の流動性は、氷河を構成する氷が自然状態においてその融点に非常に近い温度にあることに起因しており、その運動は主として塑性変形によっているのである。

積雪が氷と同じように塑性することは、積雪が氷の粒子が連なった3次元網目組織であることを考えれば明らかである。温暖な多雪地帯で起る斜面積雪の流動は、氷河の流動にくらべて遙かに早い。しかし積雪は空隙があるために氷とは違って、非常に圧縮されやすい性質を持っている。実際、氷の密度  $0.917\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  に対して積雪の密度は  $0.1\sim 0.5\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  である。積雪の体積の90~50%は空隙ということになる。このため氷河の運動には有効に働く塑性論も、斜面の積雪流動にはあまり役立たない。塑性論は非圧縮性を仮定しているからである。積雪の圧縮性については、10年程前に、簡単な法則がみいだされている。積雪の構造は層状であり、1回の連続した降雪毎に1つの層ができる。数日おきに各雪層の厚さ  $h$  と密度  $\rho$

とを測定すれば、各層にかかる荷重  $w$  も計算できる。ある雪層に荷重  $w$  が働くと、どのくらいのひずみ速度  $\dot{\epsilon}=(dh/t)/h$  で雪層が縮むかを調べ、多数の測定の結果、圧縮粘性係数  $\eta=w/\dot{\epsilon}$  と密度  $\rho$  のあいだに  $\eta=\eta_0\dot{\epsilon}^n$  の関係がみいだされた。ただしこの法則は、しまり雪について求められたものであるため、本州の積雪については適用されるとは限らない。本州の積雪は含水率が大きく、流動性はさらに増加し、より複雑である。平地積雪の場合には、この圧縮法則により積雪の厚さ、密度分布の時間的変化が理論的に取扱われるようになった。斜面積雪の運動も、この圧縮法則をとり入れた理論により組立てられる可能性が指摘されている。

斜面の積雪はたえず緩やかに流動しているが、この流動は匍匐（クリープ）と床面すべり（グライド）の2つの動きにわけられる。匍匐は積雪層内の雪粒子の相対的動きであり、床面すべりは積雪層全体の斜面に対する動きである。この斜面の積雪流動は、斜面上の構造物に単柱の場合でさえ数トンという大きな雪圧を及ぼし、時には裂目を生じなだれとなって被害を与える。雪圧は主として床面すべり量の大小に影響され、クリープ量のみの場合には、大きな値は現われない。

従来、床面すべり量は、積雪の底部に設置したフロートの移動を、これに繋いだワイヤロープの動きによって間接的に測定していた。また、クリープ量は、もみがらやピンポン玉等を雪中に垂直



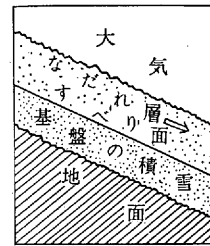
の線に沿って埋め込み、数日後に雪を掘りおこして測定していたため、連続測定はできなかった。当研究所の構内に造った斜面積雪の研究施設は、この欠点を追放するため、直径2mの鋼製パイプで造った地下室を持ち、そこから4つの窓を斜面に開け、雪の底面の雪質を調べたり、底面すべり量の直接測定やクリープ量の連続的測定ができるようになっている。また斜面の中央部には、雪圧の水平成分と鉛直成分を測定するためのポールがある。この研究施設の欠点は、地形の関係上、斜面長が小さい(斜面長22m, 勾配30°, 幅24m)ことである。

この研究施設で測定された底面すべり速度には1.4mm/dayと5.5mm/dayの2つのグループが認められた。この速度には積雪下層の含水率が、積雪層の荷重とともに効いていることがわかった。すなわち、前者は含水率の少ない時、後者は含水率の多い時に現れていた。この斜面での実験は継続中であり、積雪の流動、柱に及ぼす雪圧、雪の物理的性質の変化等の相互関連について研究を進めている。

積雪の流動は、山中の送電線の鉄塔や山林の育成に大きな被害を与えるので重要な現象である。しかし一般に山地の積雪といえば最初に想起するのは「なだれ」であろう。登山やスキーを楽しむ人びとや雪国に住む人ばかりでなく、誰であろうとも冬期に鉄道やバスその他の交通機関で旅行するときには、なだれに襲われる危険性がある。なだれの定義は「防雪工学ハンドブック」によると「一旦斜面上に積った雪が重力の作用により、肉眼で識別しうる程の速さで位置エネルギーを変更する現象」となっている。なだれの規模を階級によって数量的に示すには、現象前後の雪の位置エネルギーの差を用いたポテンシャル階級が使われている。またなだれで移動した雪の質量の対数をとった質量階級も用いられている。なだれの運動速度は、煙り型と流れ型の2つの運動形態によって異なり、実験による35°の斜面でそれぞれ16m/secおよび14m/secである。日本で用いられているなだれの分類は、当防災科学技術センターが雪氷学会に委嘱して、1963年にきめられたものである。それはなだれの発生の形(点と線)、雪質(乾と湿)、すべり面(表層と全層)の3つの要素により

- ①点発生乾雪表層なだれ ④点発生湿雪表層なだれ  
②面発生乾雪表層なだれ ⑤面発生湿雪表層なだれ

③面発生乾雪全層なだれ ⑥面発生湿雪全層などれの6つに分類されている。この分類の特徴は、目視等によって簡単に確認できるのと、将来のなだれ研究の成果もうけいられるよう定義が幅広いことである。例えばこの分類には、なだれの階級も運動形態も含まれていない。



なだれ層、すべり面の図

斜面の積雪流動となだれという2つの緩急の運動の間には次のような関係がある。第1に斜面積雪の流動は、ある種のなだれの発生原因になっている。第2に積雪流動の研究はなだれ防止柵の構築設計の基本的役割りを果している。

これら緩急の運動による災害の防止対策には、積雪自身の性質の研究が必要である。この例としては、第1にスイスの国立雪・なだれ研究所(SLF)により作られた雪圧理論となだれ防御構造物の設計指針であり、第2には我国で林業試験場の研究者により開発されたなだれ防止階段工法がある。そして第3にはなだれ防御壁やスノーシールドに対するなだれの衝撃力に関する累次の人工なだれ実験がある。なだれ予報については、前記SLFの担当する「スイスのなだれ警報組織」がある。国内50箇所の観測所から毎日テレタイプで寄せられる気象・積雪深・降雪深・雪温・雪面・雪層構成・なだれ情報(場所・形・規模)のデータをもとに週数回のなだれ予報を発行している。この予報は我国で177番をまわすと天気予報が聞けるように電話サービスが行なわれている。

次に、なだれ防止柵や防御施設を造るに適しない所では、人工的に雪を崩落させて片付ける方式が外国でも行なわれており、日本でも行なわれ始めている。また、寒地での表層なだれは、秋に地表に薬品を散布して、しもざらめ雪層の生成を妨げることで防止する方法が研究されている。

なだれ災害の防止対策はこのように多様だが、予報、人工崩落、化学処理の方法は研究すべき問題が多く、またなだれの潜在危険性の判定方法については、今後要望される重要な研究課題である。

## 積雪の含水率の計測

第2研究室長 木村 忠志

積雪は粒子構造をもった氷粒の間に、水と空気と水蒸気が含まれた集合体であって、その物理的性質はこれらの混合割合と氷粒の形状寸法および氷粒相互間の結合形式によって定まる。それで積雪の物理的性質は非常に多様に変化するが、この複雑な性質を左右する大きな因子は密度と含水率である。そして、密度が体積と重さから手軽に計測されるのに比べて、含水率は氷と共存している水の、全体に対する重量比になるので容易ではない。しかし、一般の水分計測では、水が物体におよぼす種々の物理的、化学的な過程が複雑な点にむずかしさがあるが、積雪含水率の場合には、水の相変化と、水および積雪内に含まれている空気のみが主要な問題となるので、明確な動作原理にもとづいた測器を考えることが比較的容易である。それで積雪含水率計の開発の歴史をながめてみると、どの測器も一応しっかりした理論に支えられていて、たとえば湿度計における毛髪のような、動作機構はよくわからないがともかく動作する、「エレメント」的なものはみあたらない。それで、「未婚女性のちぢれていない金髪が毛髪湿度計に最適」といったような、ロマンティックな俗説のたぐいがひとつもなく、まことに能率の良い発展をとげているといえる。因みに、毛髪湿度計には、未婚女性のものならぬミイラの頭髪が最も適しており、現在の毛髪湿度計には、ミイラの頭髪の機械的構造を、馬などの動物の長毛に脱脂とプレスで模造したものが使用されている。

最初に実用になった積雪含水率計は、積雪をとかすときに、氷の部分のみが相変化して融解熱を消費することを利用して、これを混合法による水熱量計で測定し、積雪の全量に対する氷の量を定める、いわゆる熱量計方式のもので、1939年、平田徳太郎が我国で最初の積雪含水率計をこの方式

で製作して実測に用い、翌1940年、吉田順五が方法を確立した。この2つの仕事の間には相互に連絡がなかったようで、「含水率を測定しようとした試みを未だ聞かない」と吉田が記述している。

熱量計方式の測器の最大の弱点は、付属品が多いことと、3~2名の測定要員を必要とすることであった。また、試料を採取して装置内に入れる操作と、装置内の温度を平均化する攪拌器が必要なこと、また1951年、梶嘉代子が製作した、電熱で試料をとかす形式のものを除いて、装置内の温度が0°C以上になることなどが、精度に直接つながる欠点であった。これらは熱量計測という実験室内でもデリケートな仕事を、そのまま野外で行うことをもくろんだところに原因している。熱量計方式の改良の方向は、装置の断熱構造の完全化と、測定操作の簡易化に主としてむけられ、1959年、この方式のもっとも洗練された測器が吉田によって考案され、現在これが吉田式と呼ばれて広く実用に供されている。吉田式は積雪含水率の測定を、1人の観測者が野外で容易に実行できるようにした点で画期的な測器といえるが、「この測定法はどうしても2~3%の誤差はまぬがれ難い」という、1949年の黒田正夫の評価をくつがえすには至っていない。しかし、その後、吉田式にまさる含水率計は考案されていないし、熱量計方式の測器の試作もほとんど行なわれなくなっている。おそらく吉田式が熱量計方式のファイナル・タイプになるであろう。

熱量計方式の改良がさかに行なわれていたころ、「膨大な設備器具による不便」「熱の放散による誤差」「計算過程の煩雑さ」を伴う熱量計方式は、野外測定に不向きである(黒田・古川巖1952年)として、より簡便な測定方式が考案された。これは、水と氷の中間の密度をもつ非溶性の分離液に積雪試料を浸して、遠心力をかけ、試料から水を分離して含水率を求めるもので、黒田の発案により古川が、1950年に最初の実験を行った。このときは分離液にヂェチル・アニリンを用い、手廻しの遠心分離器を使用している。この方式は取扱いが簡単なので野外用に適しているが、手廻し式では遠心力が不足で試料から水を完全に分離できず、1951年にこの方式を基準計測に採用した黒岩大助によると、含水率にして5~6%の水が分離され切らずに残ってしまう。また、市販の遠心分離器をそのまま使用した場合には、融けつつ

ある試料を測定することになり、古川が行った図表計算や、1952年に四手井綱英が行った、含水率ゼロの試料との比較測定などを行わねばならず、熱量計方式より手順を要した。この方式はその後、四手井によってガソリンを分離液に使うように工夫され、黒岩、大浦浩文・木下誠一、菊谷昭雄などによって1955年までに、分離容器に断熱壁と0°C保持機構が採用され、また、1955年に菊谷によって、雪質別の残留水分量の補正值が実験的に求められ、実用測器の形をととのえたが、この補正值の最大は7.2%にも達する。これは遠心力が不足しているためであるが、モーターを使用して手廻しの約15倍の遠心力をかけている、1954年の大浦・木下による装置の場合には、装置による水の融解を生ずることなく、残留水分量を1%以下にすることに成功しているので、やはりモーターを使った装置を1955年に発表した吉田によると、「実用面からみてもっとも適当のように思われる」遠心分離方式は、1955年以来ほとんどとりあげられていないが、もっと活用されるべきであろう。

このほか、水と氷の体積差を利用する方法があり、この系統に属する測器を1940年に吉田が提案している。これは密閉容器内で積雪試料を変相させ、容器内の空気の体積変化を測定して、変相前後の試料中の水もしくは氷の部分の体積変化を知ろうというもので、装置全体を0°Cに精密に保たねばならぬ点に問題があった。莊田幹夫によれば、この装置は1948年、黒田・大沼匡之によって実験されている。また古川によると高橋竜太郎によって、また莊田によると高橋敏夫によっても、この方式の測器が試作されているがいずれも文献の形で発表されていないので詳細は不明である。その後この方式は1951年に莊田によって、不溶性の液体の中で試料を変相させて、その前後の浮力差を測定する形式で、ほとんど実用測器に近い形にまとめられた。変相浮力差法と呼ばれている方式である。このときの莊田の論文は\*、各方式の測器を総合的に比較検討して得失を論じた唯一のものであって、積雪含水率計を扱う場合には必ず目を通すべきものといえよう。変相浮力差法は1952年に梶、菊谷によって試みられ、また、同じ年に坂貞雄が、前記した吉田の提案した方法の、空気をガソリンにおきかえた一種のデイトメータを

用いて、変相体積差法でもいうべき形式を実験している。液体の膨張係数は気体の約1/3であるから、温度の影響が吉田の提案の場合より少なく、誤差がそれだけ小さくなる。

変相浮力(体積)差法は、1952年に爆発的に発展したが、1955年に古川・黒田が「二三の人達が熱心に試みているようだが、成功いまだしというところであろう」と評したのみで、その後とりあげられていない。この方式は、含水率の測定を、重さまたは体積の計測という、容易に高い精度の得られる操作におきかえう点に特徴があるが、定位形測器より実現できず、また長時間にわたって0°Cを保つ必要があり、本質的に野外用に適さない。この方式は標準用測器として、取扱容易な間接測定測器の較正に活用されるべきである。しかしその場合には、試料の含む水に溶在する空気の処理が、ひとつの難関になると思われる。筆者は目下、この方式の較正用標準測器を検討中である。

積雪含水率計には間接測定のものが少ないが、この場合には較正可能でありさえすればよいので、実測値次第で実用性の高い測器が実現出来る。現在有望なのは、積雪の誘電率を実測値とする方式で、100 KHz以上の高周波電場内で、水の誘電率が氷の約23倍であることにもとづいている。この方式の最初の測器は、1951年に黒岩が製作し、実測に用いた。この場合には、試料を並行平板蓄電器の極板の間につめて、しめった状態と凍結した状態とでそれぞれの誘電率を測定し、両者の差を遠心分離法による含水率の実測値で較正して、積雪の構造の相異による誤差をさけている。この方式の装置は、構造が複雑であり、最近のようにエレクトロニクスの部品が一般化していなかったことも原因して、1964年にW・アンバハが、さらに実用的な測器を発表するまで、我国では全くとりあげられなかった。アンバハの装置は置換法によるものであるが、在来の測器にくらべて、革命的といえるほど機動性が高い。

最近是一般の高周波水分計に、偏位法の測器で積雪に適用可能なものが散見され、なだれの予知などに有効な、遠隔測定形の積雪含水率計が実現できるようになった。確実な較正法の完成が目下の急務である。

\* 莊田幹夫. 1952: 雪の含水量測定法 雪氷 Vol. 13 No. 4 p. 1~22

# 道 路 の 雪

第3研究室長 長 田 忠 良

道路の雪は、車両の走行抵抗を増大するとともに、タイヤのすべりにより走行性を悪化させる。

歩行者にとっても、足のぬかりは歩行抵抗となり、ぬかりの深さが5 cm以上になると、キック抵抗を感じるようになる<sup>1)</sup>。

路上に存在する雪は、直接路上に降り積った雪のほか、地ふぶきによって運ばれてきたもの、なだれによって持込まれたもの、市街地においては、道路に面した屋根から降された雪などがあり、それぞれ雪質も異なり、また交通障害の程度も異なってくる。

これらの雪は、交通の種類、気象状況によって著しく性質が変化し、したがって除雪作業内容や交通障害の様相も変化してくる。そこで、路面積雪の雪質を分類整理し、明確に表示する必要がある。そのため、43年度に、社団法人日本建設機械化協会において、路面積雪の分類試案が提案された。試案によれば路面積雪は、新雪(降ったばかりの雪)、こなゆき(粉状、車の通過後まい上る、地ふぶき)、つぶゆき(粒状、ざらめ雪、車の走行によるかきまぜまたは薬剤散布でできる)、圧雪(板状、おしつめられた雪)、氷板(板状、圧雪に水がしみこんで凍ったもの)、水膜(水の膜が凍ったもの)、水べた(液状、雪がぬれた状態)の7種類に分類される<sup>2)3)</sup>。今後は、除雪作業能率、車両の走行性など目的によって、細分類を行なう必要がある。

雪による道路の閉鎖を防止し、道路の機能の低下を防ぐための一つ的手段として、道路除雪は一般化してきているが、多雪地帯の部落を結ぶ幅員の狭い延長の長い道路は、雪で閉鎖されるものが多い。これは、狭隘でカーブの多い道路の除雪工法の開発が遅れていること、除雪コストが高いこと、短時間で延長数 km の道路の除雪を行なうほどの除雪機械の配備は望めないからである。だからといって日常活動は停止できるものでなく、雪上歩行を余儀なくされるが、歩行を容易にするために圧雪道路を形成する。道路の雪を考える場合、

除雪路線の路上に存在する雪ばかりでなく、除雪路線以外で日常利用されている道路の雪についても考えなければならない。

圧雪道路は、踏面圧力より雪の支持力を大きくするために、路上の雪を締固めて路形を形成するもので、寒冷時において新雪を密度  $0.25\sim 0.35 \text{ g/cm}^3$  にすれば足のぬかりは少なくなるといわれている<sup>1)</sup>。

これも広義に解釈すれば圧雪に分類されるものであろうが、除雪路線における圧雪とは強度的に全然異なるものである。

以前からかんじきによる踏固めが行なわれていたが、不連続な踏固めのため、踏みあとをはずすと軟い雪中に落ち込み、脱出するのに一苦勞させられることは、雪国に住むものはみな経験しているとおりである。また長い距離を踏固めるのに相当の時間と労力を要するので、除雪がだめならばせめて機械によって連続的に締固めたいという要望は当然である。既成の雪上車による締固めも効果的であるが、幅員のせまい山道路では大きさの面で利用できないことが多く、適切な機械の出現を希望する声が多い。

除雪路線では、余程の降雪がない限り道路の閉鎖は起らず、常時車両の通行は可能であり、道路除雪の第1目標はほぼ達せられたものとみられる。

しかし、除雪によって路肩に寄せられた雪、除雪後も路面に残る雪等のため、無雪期に比べて道路の機能は著しく低下している。したがってこれらの雪の適切な処理によって道路機能を向上させることが道路除雪の第2目標である。

車道の雪はいったん路肩に寄せられつぎつぎに堆積され、車道幅員を狭める恐れのあるときは道路外に放雪または運搬排雪されるのが一般的な道路除雪の形態である。密度  $0.05\sim 0.08 \text{ g/cm}^3$  の新雪も路肩に堆積されて数日放置されると  $0.35 \text{ g/cm}^3$  以上の密度になり、氷板化した雪も含まれていて、処理する面からみると厄介な雪といえる。それ以上に、車道上に存在する雪は一般交通に直

接障害をおよぼすので問題である。

流水消雪，ロードヒーティング等によって連続的に消・融雪を行なう場合は別であるが，機械除雪等間けつ的な除雪においては，ある期間路上に積雪が生ずることになり，前述の分類にみられる種類の雪が存在する。

新雪，つぶゆき等路面への附着力の小さいものは容易に除雪できるが，圧雪，氷板等は通常の1次除雪では処理できず路上に残る。

圧雪は一般交通によって締固められて発生し，以後の融解，凍結によって氷板に移行するもので気象条件が大いに影響する。化学処理で圧雪のつぶゆき化または水べた化はある程度可能であるが，全般的に雪質をコントロールできる範囲はきわめて小さい。

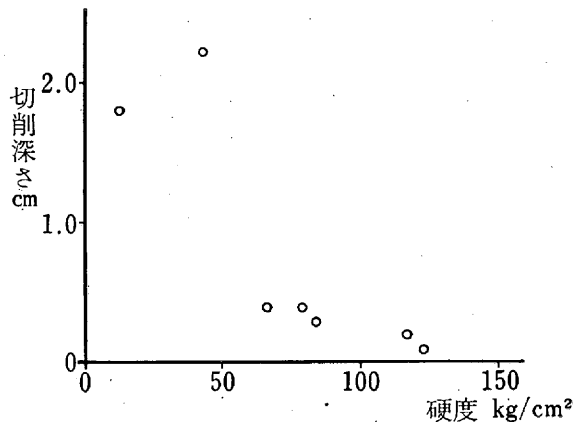
寒冷地における路上積雪では，圧雪が最も多く最近のように交通が常時確保されるようになってその発生が著しい。

圧雪の成長過程では，通常の車両走行は可能であるがタイヤのすべり摩擦抵抗の減少に起因して操向性および制動能力が低下しトラブルが多い。

融解時にはタイヤ荷重にも耐えることができずぬかりによる走行抵抗の増加，わたちの発生による交通障害を起す。また，成長時にはモータグレーダを用いても除雪量はきわめて小さく，効果的な処理方法はみあたらない。路面圧雪の性質が明確でなく，その処理方法も試行錯誤的であるが，最近各方面で研究に着手されたので逐次改善されるものと思われる。

現在までの圧雪の観測結果をみると密度は0.45~0.75 g/cm<sup>3</sup>，硬度は20~170 kg/cm<sup>2</sup>（木下式）とその範囲は広い<sup>3)</sup>。また43年度に雪害実験研究所が調査したものでは，自然積雪密度0.04~0.06 g/cm<sup>3</sup>の新雪が，路上では約15分の1に圧縮されて0.6 g/cm<sup>3</sup>程になり，硬度も70 kg/cm<sup>2</sup>以上になっている。これは時間当り平均交通量が80台の国道上での観測結果である。雪の結晶は砕かれて，0.03~0.3 mm 径の雪粒が緻密にかみ合って圧縮されている。

図は，現在圧雪の処理に一般に使われているモータグレーダを用いて切削したときの圧雪の硬度と切削深さの関係を示したものである。70 kg/cm<sup>2</sup>以上の硬度になると切削深さは3mm以下で，



圧雪硬度とモータ・グレーダによる切削深さ

実用的な値とはいえない。この条件で圧雪の成長を抑えるためには，新積雪深が5cmになる前に除雪を行なわなければならないことになる。

図中，硬度50 kg/cm<sup>2</sup>以下のものは，気温の上昇によって融解しはじめた時のもので，この程度の切削深さが得られるならば効果的である。圧雪が融解し，水がしみこんだ状態で凍って氷板になると，硬度も90~300 kg/cm<sup>2</sup><sup>3)</sup>となって処理はさらに困難となる。したがって圧雪の融解の開始時期を予知し，速やかに処理する必要がある。

化学薬剤を用いて，圧雪の硬度を低下させる方法もとられているが，硬度が低下すると，路面の不陸が著しく，軟化した圧雪を早目に除去するため，有効な薬剤も一緒に除去されてしまうので，大量の薬剤を必要とする。

圧雪の切削抵抗は大きく，より多くの圧雪を処理するために切削深さを大きくした場合，十分な駆動力が得られないことも考えられる。

以上直面している問題である圧雪を主に記述したが，圧雪が処理できても路面に発生する氷膜等によるすべりの問題が残る，多雪地帯における道路の防滑処理方法についても十分検討されなければならない。

#### 引用文献

- 1) 日本積雪連合(1966): 圧雪道路の研究・日本積雪連合資料, No. 75, 13, 16, 17
- 2) 日本建設機械化協会(1969): 路面積雪調査報告書, (1), 49
- 3) 木下誠一, 秋田谷英次(1969): 北海道における路面積雪調査・第9回日本道路会議論文集, 158-159

# 軟らかい氷、固い氷

第1研究室長 中村 勉

普通氷は「固いもの」として知られているからこの表題をみて奇に思った読者が多い事と思います。事実よくわれわれが体験することは、病人の熱さまし用の氷を、氷割りて割る時である。氷は面白いほど—といっても病人看護の時にはこんな気にはなれないが—粉々に割れてしまう。こういう時人は氷は「軟らかい」と感ずるよりも氷は「もろい」か「固い」というであろう。一方もし同じ氷を適当な形にしてゆっくりと時間をかけて引っ張ったり、あるいは圧縮したとすればどうなるであろうか、この時には氷は氷飴のようにずるずるとのびたり、あるいは縮んだりする現象がみられる。このように氷は力のか

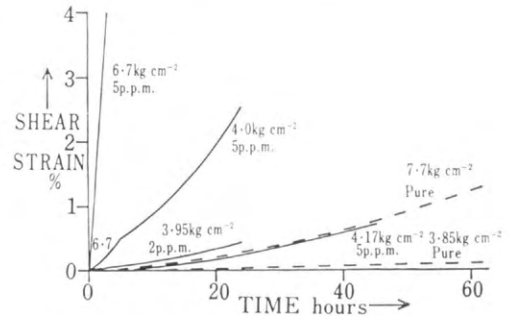


図-1 フッ化水素の入った氷と純氷とのクリープ曲線。-70°C、引っ張り試験。

について述べる。

## 歴史

この不純物を含んだ氷の力学的性質の研究の歴史はまだ浅く、1967年、英国で始まったばかりである。英国はパーミンガム大学に、J.W. グレンという氷の物理学者がいるが、当時彼の協同研究者に、S.J. ジョーンズがいた。ときどき彼らは固体中の欠陥と転位の動きについて話し合っていた。ある日、ジョーンズはフッ化水素の入った氷の力学的試験をやることに気づいた。当時彼は低温度における純氷のクリープ試験をしていたので、早速フッ化水素の入った氷を、試験機にかけた。この試験機には自動記録装置がついていず、鏡を使ってその氷の変形のふれを目視でよみとるという方法であった。夕方彼はその氷を試験機にかけ、翌朝その氷の変形のふれを観察した。不幸にして、針のふれはふり切れていた。夜間掃除人が部屋に入ってくるので、彼が間違って実験装置にぶつかり、そのため氷がこわれ、針のふれがふり切れたのだとジョーンズは想像した。こんな事が2~3度あったので、彼はいぶかしく思った。それで注意深く観察してみると、これは掃除人が装置にぶつかって氷を壊したのではなく、氷自身が微量のフッ化水素のために自分自身の性質を変えていたのであった。それで変形量が非常に大きくなり、自分自身でこわれていたのであった。ジョーンズは、さらにいくつかの実験を重ね、確かにフッ化水素が氷の力学的性質を弱めることを確認した後、前記のグレンに話した所、彼はおどろき喜んだという。時に1967年4月、イースター祭の頃であった。その後ジョーンズはグレンのもとで研究をつづけ、同年11月にカナダに渡り、現在に到るのである。

## 不純物が入った氷の作り方

氷は昔から固溶体を作りにくい物質といわれてきた。

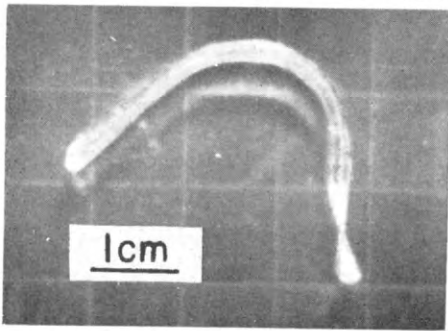


写真-1 フッ化水素 8 ppm 含んだ氷の引っ張り試験後(歪約 40%)手で容易に曲げられた氷。-11°C。

け具合によって非常に異なった性質を示す事が知られている。今までにのべてきたことは H<sub>2</sub>O 分子のみから成る氷、すなわち純氷についてであった。所が氷に微量の物質(氷の側からは不純物)を入れることによって“氷飴”の性質を変えることができるのである。すなわちさらに少し固い氷飴またはもう少し軟らかい氷飴を作れるといったことに相当するわけである。今これから述べる軟かい氷、固い氷というのは氷割りて氷を割る時の氷の性質というのではなくて、不純物が入った氷をゆっくりと時間をかけて引っ張ったり、あるいは圧縮したときの氷の性質が、不純物が入っていない氷に比べてより固いかあるいは軟らかいかをいうのである。

今までに分った氷の性質を変える物質としては、フッ化水素 (HF)、アンモニア (NH<sub>3</sub>)、フッ化アンモニウム (NH<sub>4</sub>F) がある。このうちフッ化水素は氷を軟らかくし、アンモニアは固くし、フッ化アンモニウムはそれ程影響を与えない。最近塩酸 (HCl) も氷の性質を軟らかくすることが分ったが、今回は上記の塩酸以外の物質

\* 雪害実験研究所第1研究室長。現在カナダにて雪氷の物理的性質を研究中。

この意味は氷の結晶の格子中に他の物質がとどまりにくいということの意味する。しかし、フッ化水素、アンモニア、フッ化アンモニウム等は比較的容易に氷中に入ることが以前から知られていた。不純物の入った氷の作り方には2通りある。1つは不純物を水中に溶かし溶液を作り、この溶液を凍らせて氷を作る方法。もう1つは純氷を作った後拡散によって氷中に不純物を入れる方法とである。第1の方法は  $\text{NH}_3$ 、 $\text{NH}_4\text{F}$  について用いられ、第2の方法は  $\text{HF}$  の際に用いられている。もちろん  $\text{HF}$  の場合にも溶液からも作ることができる。第1の方法では普通数百 ppm (ppm は百万分の1の単位) の溶液を作り、これを凍らせると、氷中には数 ppm~10 数 ppm の不純物が入りこんでいる。成長した不純物の入った氷は光学的には純氷と変わらない。拡散方式では、10% 程度の  $\text{HF}$  溶液を作り、この中に氷を浮かばせつつ適当な時間後に引き上げるのである。

### 軟かさ、固さの都合

写真-1 はフッ化水素を含んだ氷が簡単に手で曲げられることを示す。引っ張り試験後歪にして約 40% 時に試験機からはずして手で曲げたもの。図-1 はフッ化水素と純氷とのクリープ試験によって得られた曲線である。例えば図の中央部の 5 ppm のフッ化水素を含んだ氷と図の一番下の純氷とを比較してみよう。加えられた引っばりの力は双方共  $4 \text{ kg/cm}^2$  で同じであるが、 $\text{HF}$  の入った氷は 20 時間後にはすでに 2% もの歪に達しているが、一方純氷は 3 倍の時間の 60 時間後でもわずか 0.1% 位の歪にしか達していない。図-2 はアンモニア、およびフッ化アンモニウムの入った氷と純氷との比較を示す。フッ化水素ほど顕著な影響は与えないが、アンモニアの入った氷の降伏応力 (図のピーク) は決して純氷のそれよりも小さくはならなかったという。フッ化アンモニウムは図から分るように純氷とそれ程大きな違いはない。

### なぜ不純物を含んだ氷はその性質を変えるか

前記グレンはジョーンズの実験後、直ちにこれを説明する理論を提出した。しかしこの理論でもまだ十分な説明はできないが、概略を述べる。

氷は酸素原子を中心として 4 本の腕をもって他の酸素原子と結合している。このおのおのの腕には水素原子がそれぞれ 1 個のみ存在でき、その中いずれか 2 つの水素が 1 つの酸素原子に近く位置している。他の 2 つの水素は他の酸素原子に近接している。かくして氷分子  $\text{H}_2\text{O}$  が構成され、それらが格子を作り、氷の結晶を形作っている。所が  $\text{HF}$  はこの 1 つの氷分子  $\text{H}_2\text{O}$  の代りにその場所をしめるといことが、電気的測定の方から知られている。かくして氷 1 分子の代りに位置をしめた  $\text{HF}$  は、O 原子の代りに F 原子が入っている。所が  $\text{HF}$  は水素原子を 1 つしかもっていないから、本来 O 原子同志を結

ぶ腕に 1 つずつなければならぬ水素が 1 つ欠けている (L-欠陥と呼ぶ)。さらに  $\text{HF}$  は氷の中では電離して  $\text{F}^-$  と  $\text{OH}_3^+$  とを作っていると考えられている。だから 1 つの  $\text{HF}$  分子が氷中に入ることによって、1 つの L-欠陥と 1 つのイオン欠陥  $\text{OH}_3^+$  ができる。こういう状態の氷を引っばったり、あるいは圧縮したりすると、氷の中にすでに存在している格子欠陥の 1 つである転位が、これら L-欠陥および  $\text{OH}_3^+$  欠陥の助けをかりて動きやすくなる。すなわち小さな外力でも容易に変形が起きることになる。次に  $\text{NH}_3$  が氷中に入った場合には、1 つの H 原子が余分に入ることになるので、酸素原子同志を結ぶ腕のいずれか 1 本に H 原子が 2 つ有ることになる (D-欠陥という)。さらに  $\text{NH}_3$  は氷の中で H 原子を獲得して  $\text{NH}_4^+$  となり、相手方は  $\text{OH}^-$  となる。ここにできた D-欠陥および  $\text{OH}^-$  欠陥は、氷の転位の動きを妨げないように働らくであろう。それゆえ氷に力を加えた時には氷は固い性質を示す。 $\text{NH}_4\text{F}$  の場合には上記 4 つの欠陥が同時にできるので、お互いが相殺し合い、そのため目立った影響を氷に与えない。以上が今までになされた説明の概略である。

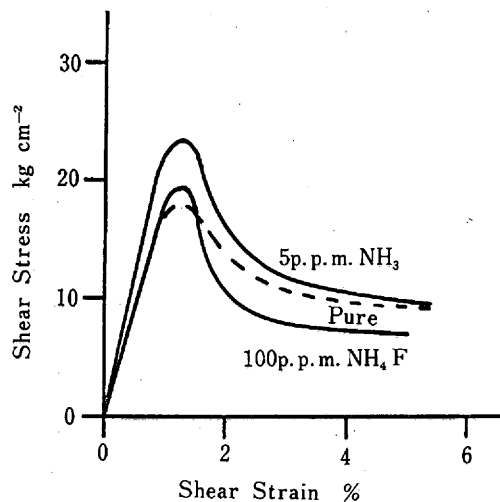


図-2 アンモニアおよびフッ化アンモニウムの入った氷と純氷との固さの比較。  $-60^\circ\text{C}$ 、歪速度  $2.7 \times 10^{-7} \text{ sec}^{-1}$ 、圧縮試験。

### 天然の雪氷への応用

天然には氷は種々の姿、形で存在する。あるものは重力下で動いている。斜面積雪、氷河、氷冠などはこれである。これら天然の雪氷に不純物を加えたら、当然その動きに変化が出るであろう。これはとりもなおさず、地球上の水収支および熱エネルギーの人工制御となり、ひいては気候変動の人工制御をも可能ならしめる。雪害防止の面からはなだれの発生の制御、あるいは斜面積雪のクリープ量の制御等、雪国で雪害に悩む人びとの助けになることを期待している。(1969年10月カナダ、オタワにて)

NATIONAL RESEARCH CENTER FOR DISASTER PREVENTION

No. 15-1, GINZA 6-CHOME, CHUO-KU, TOKYO

---

防災科学技術 No. 11 1970 January

---

昭和44年12月20日 印刷

昭和45年1月1日 発行

編集兼 国立防災科学技術センター  
発行人 東京都中央区銀座6丁目15番1号  
TEL (541) 4721

印刷 有限会社啓文堂松本印刷

---