



Title	北大における雪氷学
Author(s)	黒岩, 大助
Citation	北大百年史, 通説, 908-920
Issue Date	1982-07-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/30045
Type	departmental bulletin paper
File Information	tsusetu_p908-920.pdf



北大における雪氷学

黒岩 大助

まえがき

北大は雪氷研究に関しては輝かしい歴史をもっている。しかし過去から現在までの老大な研究を論文の羅列ではなく一連の流れとして客観的に記述することはそう易しいことではない。この一文はあくまで筆者の目からみた北大の雪氷研究史であることをはじめにおことわりしておく。

一 戦前の研究

一般に大学における学術研究は学の蘊奥をきわめることにあるとされている。したがって研究テーマは時流に迎合する必要もなければ、また、大学が立地している地域の特殊性に左右される必要もない。しかし、地域の特異性や立地に関係の深い問

題の研究は、例えそれが学問の「主流」からかけ離れている場合でも全く無視することはできない。

北大のおかれている北海道の特殊性は、いうまでもなく長い冬の寒冷と雪氷がかかわる諸問題である。一九二五年（大正一四）、北大に工学部が設置されたとき、すでに地盤の凍結・凍上に関する研究や、水道施設の凍結に関する諸問題が調査研究されたのも至極当然のことであつた。⁽¹⁾凍上というのは寒気が地中深く侵入すると地中の水分が凍結して地盤を押し上げ建物、道路、鉄道、其他の構築物を破壊する現象である。また、断熱にほとんど考慮の払われていなかった当時の住宅では、しばしば水道管の凍結破壊が冬の生活をおびやかした。このような研究テーマは、寒冷地に立地する大学の工学部が取り上げるのにふさわしい問題ではあるが、それでもいわゆる「工学」の主流とはいえないテーマであつたかもしれない。

一九三〇年（昭和五）、北大に理学部が開設されたとき赴任してきた物理学の担当教授に中谷宇吉郎がいた。中谷は東大の物理学教授で随筆家としても高名であった寺田寅彦の弟子であった。中谷が雪の結晶をテーマとして取り上げ、人工的に雪の結晶をつくることに成功し、一九四一年（昭和一六）、日本学士院賞を受賞したいきさつは、人口に膾炙しているのここに繰返す必要はない。ただここで強調しておきたい点は、中谷の雪の結晶の研究も、北海道という寒地をふまえた研究テーマであったことである。当時、物理学の主流をもって自認していた多くの学者からは、「寺田物理学」の亜流といわれ、また手造りの素朴な人工雪製作装置は中学校程度の物理実験にすぎないと批判されたそうである。しかし、その当時、主流を自認していた日本の物理学者の果して何人が独創性にとむ、世界に誇る研究をしていたのであろうか。

一九三五年（昭和一〇）、理学部の北隅の空地に小さな常時低温室が設置され、そのなかで世界で初めて人工雪結晶がつけられた。この実験室からは人工雪の他にも、その後北大の雪氷学研究の核となった数多くの研究が生れていった。⁽²⁾一九七九年（昭和五四）、この小低温室は大学整備計画によって撤去され、その跡地に人工雪結晶の誕生を記念するモニュメントが建っている。

人工雪研究の他に、この小さな常時低温室で行われた研究のなかから特筆すべき研究を一つ選ぶとすれば、それは凍上に関する基礎研究といえるだろう。工学部が行ってきた地盤凍上の工学的研究、札幌鉄道局の鉄道線路の凍上の現場調査などによって、凍上現象は土のなかに含まれている水分の単純凍結による体積膨脹だけでは説明がつかないことがわかっていった。凍上した土を掘ってみると、ところどころ霜柱状の氷が厚いレンズ状に析出していること、凍土をとかして含水量を測ると、もとの土の飽和含水量をはるかに上廻る水分を含んでいることなどから、余分の水が凍結線のところまで移動してきてレンズ状に析出することが予想された。

冬、地表面にたつ霜柱は、関東地方のような暖地でもごく普通にみられる現象である。ちょうどそのころ、「霜柱は大気中の水蒸気が放射で冷えた地面に凝結してできるものではない。地中の水分が地表まで移動してきて凍り、空中に柱状にのび出したものである」という研究を、東京の自由学園の自然観察グループが行っていた。中谷はこのグループの研究を高く評価し、北大の常時低温室に招いて実験を行わせた。同時に低温室で模型地盤をつくって、人工的に凍上をおこさせる実験を行い、地中水分が凍結線まで移動してきてレンズ状に氷を析出することを確めた。つまり地表の霜柱と地中の凍上とは同じ物理

機構による現象であることがわかったのである。凍上の機構がわかると防止対策がたてやすくなる。凍上を防ぐには寒気の中への侵入を防ぐこと、地中で水分の移動をさまたげること、地盤の土を凍上しにくい土と置換することなどが凍上防止の三原則である。現在でもこの原則にしたがって凍上防止工法の研究がすすめられている。

このように中谷の研究方法は寺田物理学の方法論を継承して、まず自然現象を自分の眼でよく観察すること、次に実験によってその現象を再現してみることであった。彼は自由学園研究グループのように、北大以外の研究者、特に地方の官庁・事業所などでめぐまれない環境にあって、コッコツと雪や氷の研究をしている研究者を世に出しエンカレジすることも忘れなかった。⁽³⁾

一九四一年(昭和一六)、中谷の人工雪の研究が中核となって北大に「低温における科学的現象の学理及び応用を研究する」ことを目的として低温科学研究所が創立されることになった。当時はあたかも第二次世界大戦の最中であつたので、寒冷下における諸現象の研究の軍事的必要性が、この研究所の設立を促したことは否定できない。一九四三年(昭和一八)、この研究所は開所式を行ったが、当初から軍の要請によって二つの戦時研究が課せられることになった。主任研究員は中谷であつた。二

つの戦時研究とは「航空機への着氷防止に関する研究」と「北海道、千島における霧の研究」である。

冬、上空をとぶ航空機が雲のなかに突入すると、しばしば翼やプロペラに着氷して墜落することがあつた。航空機への着氷防止の研究を行うため、ニセコアンヌプリ(一三〇九メートル)の山頂に、秒速六〇メートルの強風に耐える観測所と、これに附置して、秒速一〇〇メートルの風速で過冷却した霧を吸込んで模型翼に着氷をおこさせる大風洞と、実物のプロペラを回転するための一〇〇馬力のモーター、回転台に乗せて風向に対して自由に回転する零式戦闘機の機体などが設置された。研究開始後二年目で着氷防止の有効な方法がみつかったが、終戦となり実用化にいたらず終止符がうたれた。ニセコ観測所は終戦と同時に盗難にあつたり、また心ない人々の破壊をうけ、現在ではコンクリートの基礎と風洞やプロペラの台座が当時の面影をしのばせているに過ぎない。そして低温科学研究所にもこの観測所の規模や施設に関する記録は一切のこっていない。⁽⁴⁾

いま一つの戦時研究「千島及び北海道の霧の研究」は根室地方を中心に行われた。このプロジェクトには当時の陸軍氣象部隊(一四九部隊)が中心となり、これに北大と氣象台の研究者が大勢参加した。海霧がかかってきたとき、研究者を気球にのせて高度一五〇〇メートルまで上昇させて観測を行うため、気

球部隊が動員された。この研究の最終目的は、海霧の実体を明らかにし、飛行場の滑走路上の霧を消して、航空機の発着を安全にすることにあった。斜里岳（一五四五メートル）の山頂近くに観測小屋をたて映画班を常駐させ、海上から陸地に移流してくる海霧の動態を微速度映画に撮影した。

中谷が指導したこの二つの戦時研究はいずれも物理学の主流からはかけはなれたものであり、また、大学本来の目的にも沿わないものであったにちがいない。しかし、当時としてはやむを得なかつたような気がする。それはともかくこのような大規模な研究は、今後北大では行われることはないだろうし、北大における雪氷研究史のイベントの一つとして記憶されてよいであらう。

これら二つの戦時研究の特徴的な要素を挙げると、何れも規模が大きかつたことその他、実用面だけを優先させずに、現象把握のための基礎研究に大いに力をそそいだ点である。霧の人工消散の研究の場合、当時の陸軍気象部隊長が中谷にむかつて、「この期に及んで基礎的研究ばかりやっていないで早く滑走路の霧を消してくれ」と要求した。中谷は「霧がなぜ発生したり消散したりするのか、その実体がわからなければ、人工的に霧を消す効果的方法はみつからない。基礎的研究が解決への唯一の捷徑である」といって動ずることはなかつた。「ちゃんとし

た基礎研究は必ず役に立つものである。役に立たない研究は基礎研究とはいわない」というのが彼の信条であった。そして基礎研究にも思い切つて金をかけたのである。人工雪の研究の場合でも、人工雪製作装置そのものは水蒸気が対流できるように工夫した簡単なガラス管であつた。しかし、一年を通じて常時冬の低温環境が実現できる低温室がなかつたら、恐らく人工雪の研究は成功しなかつたであらう。たかが雪の結晶一個をつくるのに大きな低温室はいらない。顕微鏡の試料室のせまいスペースだけを冷せばよいではないかという理くつはコロンブスの卵のあとでの話である。大学ではともすればディレクタントを自認して金のかからない研究を行うことを基礎研究と考えがちであるが、趣味でやる研究は末梢研究であつて基礎研究とはいえない。

中谷の研究手法のいま一つの特徴は映画を積極的に活用した点である。例えば長時間にわたる結晶成長過程を、顕微鏡速度映画に記録しておく、時間を縮めて成長過程を観測できるし、必要なときは、いつでもくり返し研究観測できる利点がある。映画的手法は航空機への着氷過程、霧の移流、消散過程の研究にも活用された。この手法は、高速度であれ微速度であれ、時間的変化に伴う物理現象の解析には極めて有力であるばかりでなく、映画のもつ説得性は、第三者に現象を理解させる

のに大いに役に立つ。映画を研究に活用するというアイデアは、その後の北大における雪氷研究の大きな特色の一つになった。

二 戦後における研究

1 雲物理学の発展

終戦によって日本の政治、経済は崩壊し、思想、教育も大きな混乱期をむかえた。北大における雪氷研究もその例外にたつことはできなかった。航空機への着氷防除の研究と飛行場の霧を消すという二つの戦時研究を指導した中谷も、戦後いち早く民主主義と平和運動の旗印をかかげた教授、研究者たちによって痛烈な批判のもとにたたきられることになった。終戦後間もなく、中谷はある国際会議に、彼の有名な人工雪結晶の映画を提出するため、映画をとりなすことを計画した。当時の日本は極端な資材不足であったので、中谷はアメリカのG・E（ゼネラル・エレクトリック）研究所から不燃性フィルムを提供をうけた。たまたまこのフィルムの購入費がG・E研究所と米空軍との契約研究費の一部から支出されていたことが、中谷のアメリカ空軍への研究協力であると批判され、マスコミもこれを大きく報道した。結局、中谷は彼が創設に努力した低温科学研究

所を去ることになった。⁽⁵⁾しかしながら中谷の戦前、戦中の研究成果は、その後の雲物理学の発展に大きな貢献をしていくのである。

終戦後日本の研究者が渴望していた文献や雑誌類が、外国からぼつぼつ輸入されるようになり、初めて外国での雪氷に関する戦時中の研究の様子がわかるようになった。大変興味深かったのは、北大が航空機への着氷防除の研究を、ニセコアンヌプリの山頂に観測所や大風洞を設置して行ったと同じように、アメリカでもニューハンプシャー州のワシントン山の山頂に、観測所と巨大な風洞を設けて、航空機への着氷防除の研究を行っていたことである。アメリカ側の研究指導者は、有名なG・E研究所長でノーベル化学者のアービング・ラングミューアーであった。また北海道東部海岸のように夏は濃霧になやまされる英国でも、ドイツ爆撃に出勤する爆撃機の発着を安全にするため、滑走路の霧を消す研究が行われていた。そして実用的霧消し装置が開発され実戦に供されていた。期せずして中谷が指導した二つの戦時研究と全く同じ研究が、かつての敵国であったアメリカとイギリスで同時に行われていたのである。

日本の戦時研究は終戦とともにタブーとなり消滅した。しかし外国では、着氷の研究や霧の研究は、「雲物理学」という新しいジャンルを開拓しつつあった。冬、雲のなかを飛ぶ飛行機

の翼やプロペラになぜ着水がおこるかという点、雲粒のように空中に浮んでいる小さな水滴は、気温が 0 度以下でも容易に凍らず液体のまま（この状態を過冷却という）でいるからである。過冷却の状態は不安定であるから、過冷却水滴が冷えた機体や回転しているプロペラに衝突すると瞬間的に凍り着く。これが着氷現象である。上空の雲は、冬はもちろん、夏でも 0 度以下に過冷却した水滴である。過冷却水滴の凍着を防ぐには、あらかじめこの水滴を凍らせて固体の水の粒に変えてしまえばよい。水の粒なら衝突してもくっつかない。ところが空中に浮いている過冷却水滴は、そうたやすくは水の粒にはならないのである。G・Eの研究者たちは、着氷防止の問題を解決するために、水の過冷却はどうしておこるかという基礎的研究から始めたのである。その結果、過冷却水滴が凍るためには、水滴のなかに凍結を開始するための「しん」になる固体の微粒子（凍結核という）の存在を必要とする、さもなくばドライアイスのような冷却剤で、気温を零下 40 度以下に下げればよいことを見出した。

そんなわけで実際に飛行機から、過冷却した雲の上に、凍結核の作用をする沃化銀の粉をふりまくか、またはドライアイスの粉を散布して、気温を零下 40 度以下に下げると過冷却水滴は水の粒となり、この上に水蒸気が凝結して雪の結晶に生成

し、ヒラヒラと地上に落ちてくるのであった。これが「人工降雪」の原理である。雪は地上に近づくこととけて雨になるのである。「人工降雨」ということもできる。G・Eの研究者によると、過冷却雲に沃化銀やドライアイスの粉をまいて人工的に降らせた雪の結晶は、中谷が昔、北大の低温室でウサギの毛の上に成長させた雪の結晶とそっくりであった。

過冷却した雲を人工的に雪に変え雨を降らせるというG・Eの研究は、雨量に乏しい国々の関心をよび、また、この過程にふくまれる過冷却現象・核形成・結晶成長過程などは気象学者のみならず多くの物理学者の興味をよんで、雲物理学は急速に発展していった。雲物理学の進歩は、戦後の混乱からようやく立直り始めた北大の研究者たちにも、大きな刺激をあたえずにはおかなかった。まして雪の結晶形と上空の気温と湿度との関係をあらわす「中谷ダイアグラム」に象徴されるように、北大は人工雪の研究によって雲物理学に先鞭をつけていたという自負と誇りが、理学部地球物理学教室や、低温科学研究所の若い研究者を雲物理学の研究にかりたてた。中谷の没後、一九六五年（昭和四〇）、日本で開かれた国際雲物理学会議は、特に会場を東京から中谷教授ゆかりの札幌に移し、記念講演会が開かれた。また、この時期は北大はもちろん、日本における雲物理学研究の頂点でもあった。

過冷却現象・核形成・結晶成長など一通りの基礎的研究の終わった雲物理学は、今や実用化の段階に入り、人工降雪法の経済的な技術開発と、その効果に関する統計的研究がすすんでいて、もはや実験室での小規模な研究からはなれつつある。現在、北大での雲物理学関係の仕事は、むしろ雪結晶の晶癖、降雪現象と空中電気との関係、などにむけられている。中谷の雪結晶の研究は対称性のよい形の美しい単結晶雪に関するものが主であった。しかし天然に降ってくる雪結晶は必ずしも対称性のよい、形のととのった結晶とは限らない。形の不規則な結晶、多結晶の雪、双晶からなる雪結晶も多い。したがって不規則な形の雪結晶の成長機構の研究も、雲物理学の残された研究分野の一つである。

2 積雪の研究

本州の日本海側と北海道は冬の半年は深い雪に覆われる。この季節雪は大きな雪害をもたらす雪国の住民の生活と産業活動に大きな影響をあたえてきた。一九三九年（昭和一四）、日本雪氷協会（のちに日本雪氷学会と改称）が設立されたが、その綱領には雪害防止を目的とすることが大きくうたわれている。この点、諸外国の雪氷研究が、主として山岳氷河の地理学的研究からスタートしたのと対照的である。

終戦直後中谷は、ニセコアンヌプリの着氷研究施設を解散してニセコ山麓に財団法人農業物理研究所を設立した。この研究所がまず手をつけた雪氷学的研究は融雪促進の研究であった。春の融雪を人工的に促進すれば、農作物の播種、植付けが早くでき食料増産に役立つという考えであった。また、この研究と同時に着手したいま一つの雪氷学的研究は、電源開発に必要な山岳集水域における積雪量の調査研究であった。多量の積雪は雪害をもたらすが、一方山岳積雪は水資源という立場からみれば、天然のダムとみなすことができるというのが中谷のアイデアであった。ところが農業物理研究所は資金が不足し経営困難となり間もなく解散してしまった。しかし、水資源としての山岳積雪の信頼できる調査研究と、調査技術の開発の必要性は今日でも失われてはおらず、北大の研究者によって新しい構想による積雪深計や積雪水量計の研究がすすめられている。

低温科学研究所における積雪の研究は、中谷が辞任したあと実質的な研究指導者となった吉田順五教授によって精力的にすすめられてきた。これまでの日本の積雪の研究は、雪害防除に関する実用的研究に主力がそそがれていた。吉田は、さしあたり実用的研究にはとらわれずに、積雪の物理的性質を明らかにすることに主力をそそいだ。ここにも実用問題の解決には基礎的研究が捷徑であるという中谷の信条がいかされている。

積雪を物理学の対象、または研究材料として取扱うとする
と、まず逢着する困難は、その構造の不均質性と複雑さであ
る。積雪は水の粒と空気との混合物であるが、全体としての物
理的性質は、水の粒と空気との混合比（またはみかけ密度）だ
けではきまらず、水の粒の形、大きさ、結合状態、空間的配
置、温度、湿度などによって、粉体としての性質から粘性流
体、または弾性固体としてのふるまいまで、幅広い変化を示す
のである。吉田は当時高分子材料の粘弾性的性質を解析するた
め発展しつつあったレオロジーの考えを積雪研究に積極的に取
り入れた。レオロジーの適用によって、屋根雪や山の斜面に積
った雪のグリップ（匍匐）や沈降力、その他いろいろな粘弾性
的挙動が現象論的にうまく説明できるようになった。しかし積
雪のレオロジー的性質を現象論だけでなく、その内部構造にま
でたち入って説明しようとする、どうしても積雪の内部構造に
を観察し、計測する必要がある。この要請に答えて木下誠一と
若浜五郎はアニリンを使って積雪の粒子構造を固定し、顕微鏡
で観察できる薄片をつくることに成功した。この方法は簡便で
あったので、日本のみならず世界の雪氷学者が競って使用する
ことになった。

吉田は間もなく低温科学研究所での多くの研究者の仕事を英
文でまとめて「Physical Properties of Deposited Snow⁽⁶⁾」として

発表した。この報告は内外の雪氷学者の関心を集めた。一九六
六年（昭和四一）低温科学研究所は創立二十五周年を記念して
札幌で低温科学国際会議を開いた。諸外国から雪氷に関する多
くの記念論文が提出されたが、この会議は低温科学研究所の
積雪研究の国際的評価を高めると同時に、同研究所の若い研究
者たちを広く国際交流の場にたたせるきっかけとなった。

その後、低温科学研究所の積雪研究にはレオロジー的手法の
他、固体物性、粉体科学の手法が取り入れられていくことにな
る。例えば天から降ってきた雪の結晶は、樹枝状結晶に代表さ
れるごとく対称性の高い美しい形をしている。しかし、地上の
積雪はただの丸い氷の粒の集合体である。雪の結晶は地上に積
るともはや六花の美しい形を長くとどめることができず、とけ
なくても自然に丸い氷の粒に姿を変える。そして互に固結して
いく。かくてフワフワの新雪はかたい「しまり雪」になる。雪
結晶がとけることのない低温環境のもので、なぜこのように変
態していくかは、粉体科学でいう「焼結」という言葉で説明さ
れる。焼結現象を簡単に説明することはできないが、要するに
熱力学的な必要性によって過剰な表面エネルギーを減らそうと
して雪の結晶は複雑な形態から丸くて単純な形態になろうとす
るのである。そして雪粒と雪粒は接触するとこの原理にしたが
って固結し、強度を増していくのである。黒岩大助は木下、若

浜によって開発されたアニリン法を使用して、焼結による積雪の内部構造の変化と、力学的強度の時間的変化を明らかにした。今日では焼結という冶金学の専門語を積雪の研究に使用することは雪氷学者の間では常識になっている。一九七二年、札幌でオリンピック冬季大会が開かれたが、その際スキークースの整備に積雪の焼結現象に関する知識が大いに活用された。

3 雪氷災害に関する研究

北海道の開発は「寒害」と「雪害」の克服なしにはすすめることはできない。当然北大でもこの線に沿って実用的、工学的研究がすすめられてきた。北大工学部における融雪洪水に関する土木工学的研究、港湾や河川の結氷が構築物に及ぼす影響、貯水池や電源ダムの凍結に関する研究などがそれである。また雪氷それ自身の研究ではないがコンクリートの凍害防止に関する研究も寒害克服への一つの重要な研究であった。

寒冷地における道路や鉄道がこうむる寒害のうち重要なものは凍上現象である。戦前からの研究によって凍上は地中に厚いレンズ状の氷が析出、成長して地面を持上げる現象であることがわかっていった。戦後の研究は、開発の進展に伴い道路の凍上防止に関する、より経済的で効果的工法の発見に重点がおかれた。しかし工学的研究をすすめるためには、雪氷学の立場から

みた凍上現象のより深い理解と基礎知識が必要である。これにこたえて低温科学研究所は北大苫小牧演習林に凍上研究施設をつくり、凍上力、凍着力の研究、加圧したときの凍上速度や凍上量の変化、地中水分の移動の研究などを進めてきた。その結果、ある条件のもとでは加圧によって凍上速度をにぶらせ、凍上を抑止できることがわかった。

北大における「雪害」に関する主な研究を挙げると、なだれの研究、地吹雪の研究、送電線や通信施設への着氷雪防止に関する研究などがある。

北大での雪崩の災害科学的研究は、一九六一年（昭和三六）四月、日高山脈で大雪崩があり、電源工事用の飯場がつぶれ、多数の労働者が死傷した事故がきっかけとなって始まった。数年後低温科学研究所に雪崩の研究を主とする雪害科学部門が設置され、関東別の北大演習林には雪崩観測施設がつけられた。ここでは斜面積雪の内部応力やクリープの観測がつけられている。斜面の雪がなだれるまでの内部応力の状態は、なだれの研究にとって重要であるが、なだれそのものの研究は何といっても斜面を流動しつつある雪の運動と挙動にある。この線にそって低温科学研究所では富山大学と協力して黒部溪谷で高速なだれの研究をすすめてつある。実測によるとホウ（泡）なだれの衝撃力は一平方メートルあたり一〇〇トンを超えることもある

ことがわかった。

地吹雪による視程障害と、吹溜りによる交通障害は、雪国での雪害の最たるものである。地吹雪は強風によって雪面上の雪粒子が流動する現象である。低温科学研究所の低温風洞実験と野外観測の結果によると、風速が秒速五メートルに達すると地吹雪が発生すること、雪面での雪粒子の移動は砂漠の砂嵐に伴う流砂、漂砂現象と似ていて、跳躍と撥飛はなばた（サルテーション）とが大きな役割を果していることが明らかにされた。この結果は防雪柵の設計や設置に役立つであろう。

太平洋戦争の最中、戦時研究の一つとしてニセコ山頂で航空機への着氷防除の研究が行われたことはすでに述べた。航空機の大部分がジェット化され、高速で飛行するようになった現在では、機体への着氷雪はあまり問題ではなくなった。しかし地上に張られた送電線や、マイクロウェーブその他の通信施設への着氷雪は、依然として寒冷多雪地帯における重要な研究課題であり、そしてまた、最も解決の困難な問題の一つでもある。テレビジョンの普及・発達に伴い、マイクロ波の雪上伝播と着氷雪の通信機器への影響に関する研究が、北大応用電気研究所で取り上げられ、これに低温科学研究所が協力して研究がすすめられた。その結果、気温が低く着氷雪が水分を含んでいないときは、マイクロ波の伝播にさしたる障害はないが、気温が上昇

し水分を含むようになると伝播障害を生ずることがわかった。

厄介なのは送電線に対する着雪の問題である。北海道では気温がプラスで風速が毎秒一〇メートルを超える強風のとき、着雪してしばしば鉄塔の倒壊事故がおこった。従来の研究では、湿雪が電線に着雪するのは風速が弱い時に限る。風速が秒速五メートルをこえると吹飛ばされて着雪しないというのが定説であった。それ故風速が一〇メートルを超える強風下でおこる着雪による鉄塔倒壊事故は理解しがたい現象であった。北海道電力技術研究所に北大低温科学研究所が協力して行った基礎実験によると、送電線に衝突した湿雪は、水の表面張力の作用によって、強風をうけても脱落せず、電線の周囲を回転しつつ筒雪状に成長していくことがわかった。この実験から送電線への着雪を防止するためには、附着した湿雪が電線の周りを回転することを妨げればよいことになる。そして着雪の回転を防ぐ有効な手段がいくつか開発された。ここにも実用的な問題解決のためには、現象の詳細な観測と基礎的研究が必要であることが示されている。

最後に雪氷災害の一つとして流水による災害の問題にふれておこう。衆知のごとく冬の北海道のオホーツク海沿岸は、サハリンに沿って南下するおびただしい流水によって閉ざされ、沿岸航行はもちろん、漁業は大きな被害をこうむっている。終戦後、

オホーツク海沿岸の海水と流水の研究は低温科学研究所の福富孝治教授らによってすすめられてきた。福富らは寒風のなかにテントを張って自然の悪条件と戦いながら海水観測を続け、結氷開始時期の予報、沿岸結氷の成長と構造、海水の力学的強度、載荷能力、氷板の荷重と変形などについてすぐれた業績をあげた。福富が北大理学部の地球物理学教室に転出してからは、海水の研究は田畑忠司教授に受けつがれた。一九六五年（昭和四〇）、紋別市に流水観測施設がつけられ、流水の動態を観測するため、枝幸・紋別・網走の三個所にリーダーが設置された。今後この流水研究施設のリーダー情報から、どのような新しい知見が海水と流水研究のうえにもたらされるか、また沿岸漁民にどのように役立つか、流水と電波との相互作用に関する基礎的研究とともに、その成果がのぞまれる。

4 水の物性論的研究

一九五〇年（昭和二五）の初め、アメリカに国立雪、氷、凍土研究所（S I P R E）が設立されたとき、中谷は招かれてこれに参画した。彼はS I P R Eに滞在中、メンデンホール氷河から採取された単結晶氷をつかって、氷の内部融解の研究と、外力を加えたときの塑性変形の研究を行った。シュリーレン法で撮影された氷の内部融解像（チンダル像）や、塑性変形の結

果としてあらわれる氷のすべり線などの見事な写真は感動的であったが、中谷が実験にふんだんに使用した氷の単結晶が、巨大な氷河水の、直径が三〇センチメートルを超える単結晶塊から切り出されたものである点が、何よりも驚異的であった。その当時はまだ日本では、実験室で純度の高い大きな氷の単結晶を育成するという技術はすんでいなかった。それ故中谷の単結晶氷の研究は、北大の雪氷研究者に大きな感銘をあたえたと同時に、まだ見ぬ天然の氷河に憧れと関心をいだかせたのであった。その後、北大でもメンデンホール氷河へ學術調査が行われ、実験用の単結晶氷がたくさん日本へ持帰られた。

中谷が単結晶氷の塑性変形の実験を行ったころは、固体物理学の勃興期で、転位論が結晶塑性の研究に目覚ましい成果をあげつつある時期でもあった。彼は単結晶氷の塑性変形が金属結晶の変形と相似であることから「氷は金属である」という言葉を好んで使った。しかし彼は氷の塑性変形に対して十分な転位論的解釈を与えないまま世を去った。中谷の死後、単結晶氷の塑性変形に関する研究は、北大工学部の東晃教授らに受けつがれ、X線解析、ラングカメラ法など新しい技術を駆使して、氷の内部の転位構造と塑性変形の解明がすすめられている。また東らは、実験室で高純度の、しかも転位密度の極めて小さい単結晶氷の育成に成功したので、現在ではもはや、物性研究のた

め海外の水河に単結晶氷を取りに行く必要はなくなった。

戦後の固体物理学の分野での格子欠陥に関する研究の進歩は、結晶物性の研究に大きな影響をあたえた。北大における雪氷研究に関しても例外ではなく、固体物理学の理論や実験方法が、さかんにこの分野の研究に取り入れられた。氷の結晶の転位模型が吉田、若浜らによっていちはやくつくられたし、樋口敬二、六車二郎は氷の熱腐蝕法、黒岩は化学的腐蝕法を開発し、電子顕微鏡、光学顕微鏡によって、転位密度、転位構造を研究した。また、黒岩は振動法によって単結晶氷、多結晶氷の内部摩擦の実験を行い、結晶欠陥に起因する緩和現象を研究した。一九五〇年の初め、中谷と松本昭彦は氷球の附着実験から、低温下でも氷の表面に擬似液層が存在することを予想していたが、その後、黒岩、津島勝年、小林禎作らによって擬似液層の研究は氷の焼結、氷表面の摩擦、氷の結晶成長、氷の表面電気伝導の研究などに発展していった。氷の結晶欠陥に関する研究は、一見すると純学問的研究であって、雪氷の実用的、応用的問題とはあまり関係がなさそうにみえる。しかし、それは誤りである。氷河のゆっくりとした流動や、屋根に積った雪のクリーブなども、氷の結晶の塑性変形に基づくものであり、氷の内部の格子欠陥、特に転位欠陥の挙動が外に反映されたものである。したがって氷内部の微視的構造の研究は、地球物理学的な巨視的

現象とも密接につながっているのである。

5 極地雪氷の研究と海外学術調査

一九五三年（昭和二八）、アメリカの雪、氷、凍土研究所（SIPRE）は、一九五七年より始まるIGY（国際地球観測年）の極地協同観測事業の一環として、グリーンランド氷冠のうえで、厚さ二〇〇メートルに達する氷床氷にボーリングして、表面から岩盤までの雪と氷の試料をそっくり地上に取り出すという壮大なプロジェクトを開始した。年平均気温が零度以下の極地では、雪はほとんどとけることなく堆積して氷化している。あたたかい夏と寒い冬に積った雪質のちがいが、酸素の同位元素量、雪に含まれている噴火年代のわかっている火山灰、放射性炭素の量などを手がかりにして掘り出された雪氷試料の年代を調べると、過去における地球の気候変動の様子がわかる。SIPREに客員研究員として滞在中であった中谷も、このグリーンランドの氷床コアプロジェクトに参加し、掘り出された雪氷試料の粘弾性的性質の研究を始めた。積雪の粘弾性的性質は内部構造に大きく依存するので、中谷は、木下、若浜のアニン法を使ってグリーンランド積雪の薄片をつくり、粒径、比表面積、みかけ密度、通気度などと、粘弾性的性質との関係を調べた。しかし、彼は膨大なデータを未整理のまま病

に倒れ不帰の客となった。のちこのデータは低温科学研究所の黒岩によって整理されSIPRE報告として出版された。⁽⁷⁾

中谷のグリーンランド氷冠での研究は北大の雪氷研究者が行った極地雪氷研究のはしりであった。一九五〇年代の日本は戦後の復興も十分ではなく、学術研究のため海外に出張することは困難な時代であった。それ故日本全土の六倍もある広大な面積が、厚い雪と氷で覆われているグリーンランドの氷冠に関する中谷の研究は、半年で消失してしまいう季節雪しか知らなかった北大の研究者にとって、魅力的でかつ新鮮な刺激をあたえた。

中谷とは対照的に、低温科学研究所における吉田の指導方針は、海外での雪氷研究よりも毎冬、雪害に苦しめられる日本の季節雪の研究を優先させたので、低温科学研究所の雪氷研究者たちには、極地雪氷を研究する機会はあまりなかった。一九五五年、日本学術会議がIGYへの協力事業として、南極観測に参加すべきであることを政府に勧告したので、二年後の一九五七年、南極オングル島に昭和基地が建設されることになった。日本の南極観測は、最初はオーロラ、地磁気、電離層など地球電磁気学的研究からスタートしたが、やがて雪氷学的研究が計画されるようになり、低温科学研究所の若い研究者たちにも極地雪氷にふれる機会が生れた。爾来、北大からは毎年、南極観測

隊に越冬隊を含めて一名ないし二名が参加している。

低温科学研究所のスタッフによる、北アメリカ、シベリヤなどの北極圏への学術調査は、一九七〇年ころより急に活発になり、文部省科学研究費、日米科学協力事業費などによって、北極圏における海水、永久凍土、氷河を対象とした学術調査がほとんど毎年のように行われるようになった。

北大の雪氷学的海外学術調査としては、低温科学研究所の他、工学部雪氷研究グループによる氷河調査、理学部地球物理学教室によるカナダ北極圏の降雪研究などが幅広く行われている。極地雪氷に関する海外学術調査は、日本のような温帯地方には存在しない、スケールの大きい氷河や永久凍土の研究によって、研究者の知見を広げると同時に、研究と調査を通じて国際協力の実を挙げることに役立っている。

〔注〕

- (1) 『工学部五十年史』年表、一九七五年
- (2) 『北海道大学常時低温室研究小史』、一九八〇年
- (3) 高橋喜平『日本の雪』読売新聞社、一九七四年
- (4) 『ニセコ』国鉄北海道支社、一九七四年
- (5) 『低温科学研究所』『北大百年史 部局史』所収、一九八〇年
- (6) 『低温科学研究所欧文報告』一九五五—一九五八年
- (7) SIPRE (後にCREE) 研究報告89、一九七〇年

(北海道大学名誉教授)