

## 土質工学における雪と氷

## 2. 雪氷研究の歴史と現況

なか  
中村つとむ  
勉\*

## 2.1 はじめに

世界に類を見ない我が国の温暖多雪地域の冬期の雪国生活は諸外国とはかなり異なっていた。また最近のモータリゼーション化は雪国にも及び、雪国の様相は一変した。しかし、雪氷災害は時代と共にその様子を変えてゆくものであるから、ここで、我が国の雪氷研究の歴史と現況、更に、世界の雪氷研究の現状をとらえることは、今後の雪氷学の発展や雪氷災害防除にとって有益と信ずるものである。

## 2.2 世界の降積雪域にみる我が国の降積雪の特徴

次章の「我が国における雪氷研究の歴史と現況」について述べるためには、我が国の降積雪の特徴についてぜひ触れておくべきと考えるので、それについて簡単に記述する。

## 2.2.1 日本における降雪機構の特徴

降雪現象とは、大気中の水蒸気が固相に変わる現象に基づく。この固相に変わる量は、大気中の水蒸気の過飽和分であり、種々の気温下の飽和の程度は水蒸気飽和曲線から知られる。実際に雪の結晶化のためには適当な核が必要であるが、これについては他書にゆずる。この曲線に関して大事なことは、この飽和度は低温になるとともに指数関数的に急激に低下してゆくということである。それは、例えば0℃の飽和大気中の水蒸気量  $4.9 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$  は、-20℃では、その約1/5の  $1.1 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$  しか水蒸気として存在できない。すなわち、残りの約  $4 \times 10^{-3} \text{ kg}$  は固体として大気中に吐き出される。すなわちこれが雪である。わずか  $4 \times 10^{-3} \text{ kg}$  と思われるかもしれないが、これは  $1 \text{ m}^3$  当たりの値であるから、この広大な自然界では莫大な値となり、豪雪となるのである。上の計算では、0℃の飽和大気は-20℃にまで変化すると仮定したが、これの天然状態下の様子は、例えば良く知られた我が国での冬の季節風下での降雪機構から理解されよう。すなわち、シベリア大陸の強い高気圧から吹き出した冷たくかつ乾燥した気塊（季節風）は、日本海から熱と水蒸気を受け変質し、激しく対流がおこり気塊は上昇し雲が発生し、日本列島の沖合から降雪が始まる。時には日本の脊梁山脈の影響をも受け湿潤大気は上昇する。この様に湿潤大気は上昇する際、高度100mあたり0.5～1℃の割合で気塊の温度が下がり雲が発達し

表—2.1 世界各地の1月の平均気温と降水量および降雪深  
(1921～1950年間の平均値)

| 地 名              | 緯度, 経度      | 1 月<br>気 温 | 1 月<br>降水量 | 累 積<br>降雪深 |
|------------------|-------------|------------|------------|------------|
|                  |             | ℃          | mm         | cm         |
| ベ キ ン(中 国)       | 40°N, 116°E | -4.5       | 1          | 1          |
| ベルホヤンスク(ソ 連)     | 68°N, 133°E | -50.1      | 4          | 5          |
| ヘルシンキ(フィンランド)    | 60°N, 25°E  | -5.0       | 54         | 68         |
| モントリオール(カ ナ ダ)   | 46°N, 74°W  | -10.2      | 94         | 120        |
| ボ ス ト ン(米 国)     | 42°N, 71°W  | -1.6       | 89         | 110        |
| ダッチハーバー(アリューシャン) | 54°N, 167°W | 0.0        | 139        | 174        |
| ポイントバロー(ア ラ ス カ) | 71°N, 156°W | -26.2      | 4          | 5          |
| 札幌               | 43°N, 141°E | -5.9       | 103        | 129        |
| 高 田              | 37°N, 138°E | +1.3       | 524        | 655        |
| 新 庄              | 38°N, 140°E | -0.6       | 280        | 350        |

遂には雪となる。日本の季節風型の降雪機構の特徴は、正に水蒸気ならびに熱の供給源としての日本海が存在である。低気温だけでは多雪とならない。低気圧性の降雪の場合でも海が水蒸気の供給源である。

## 2.2.2 降雪量の比較

表—2.1は世界の降雪地帯の1月の気温と降水量ならびに降雪深を示したものである<sup>1),2)</sup>。ただし、降雪深は推定値であり、これを求めるために用いた降雪の密度は  $80 \text{ kg/m}^3$  である<sup>3),4)</sup>。この密度の値は、時と場所により当然異なるわけであるが、カナダやスイス、スウェーデンの現地の雪をみた限りでは、この値からそれほど大きくずれてはいないと考えられる。この表から、日本の都市域では、いかに多量の雪が降るかが判然としよう。しかも特徴的なのは気温が高いということである。

緒言で、「世界に類を見ない多雪地域」と言ったが、多雪地帯の都市の一つとしてカナダのケベック市が挙げられよう。同市は人口55万（1978年現在、カナダ大使館調べ）のカナダでも美しい歴史都市である。そこでの雪の量は累積降雪深の平均（1944～1979年の35年間）として345cmであり<sup>5)</sup>、日本の雪国都市に匹敵しよう。

## 2.2.3 降積雪量の極値

我が国での極値は、日降雪深が土合（群馬県）での2.4m、積雪深については伊吹山（滋賀県）での11.8mという記録であるが、詳細は他書<sup>6)</sup>にゆずる。56豪雪時の値は、文献7)を参照されたい。

## 2.2.4 毎冬の最大積雪深の平均値の分布

時空間的に変動する雪であるが、我が国の降積雪量分布は容易に知られるので他書<sup>7),8),9),10)</sup>にゆずり、ここには、

\*国立防災科学技術センター 新庄支所長

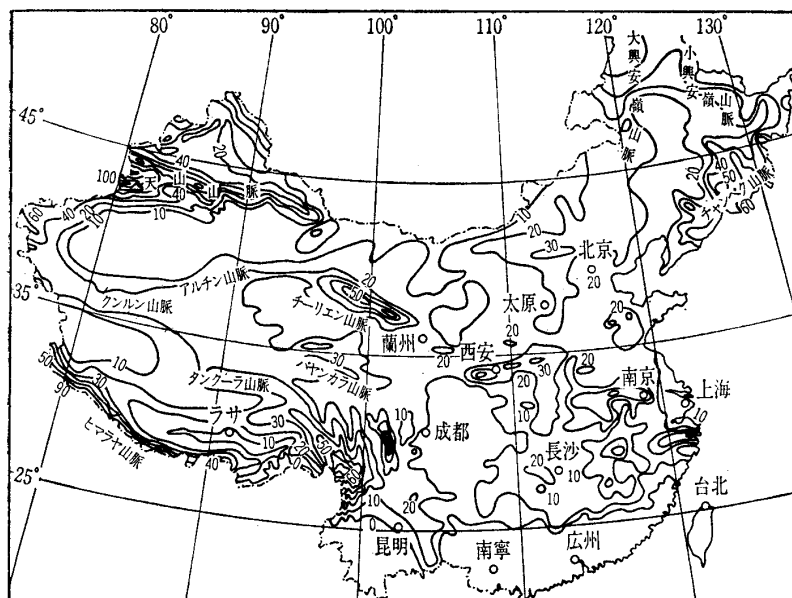


図-2.1 中国における最大積雪深(cm)の年平均(胡汝驥の原図<sup>23)</sup>を基に筆者が描き直したもの)

る最大積雪深の年平均値を示す<sup>11),12)</sup>。中国においては、その大半が積雪深 20~30cm 以下であり、天山山脈とエベレスト山の在る地域がわずかに積雪深が大である。

カナダについてみれば、ロッキー山脈近傍と五大湖の近く、そしてニューファンドランド州近くに積雪深の大なる地域がみられるが、内陸では第1項で述べたように、水源がないために積雪量は少ない。内陸のサスカトゥーン地方では、浅い積雪層内部に霜ざらめ雪がよく発達している(1980年2月)<sup>13)</sup>。

我が国の特徴は、積雪深 50 cm 以上の地域が、本州中央部以北および北海道にみられることである。

## 2.3 我が国における雪氷研究の歴史と現況

中国とカナダの分布を示すことにする。

雪氷研究の歴史観には種々あろうが、この稿では研究を

図-2.1および図-2.2はそれぞれ中国とカナダにお

進めて来た人物を中心に話を進めてみたい。

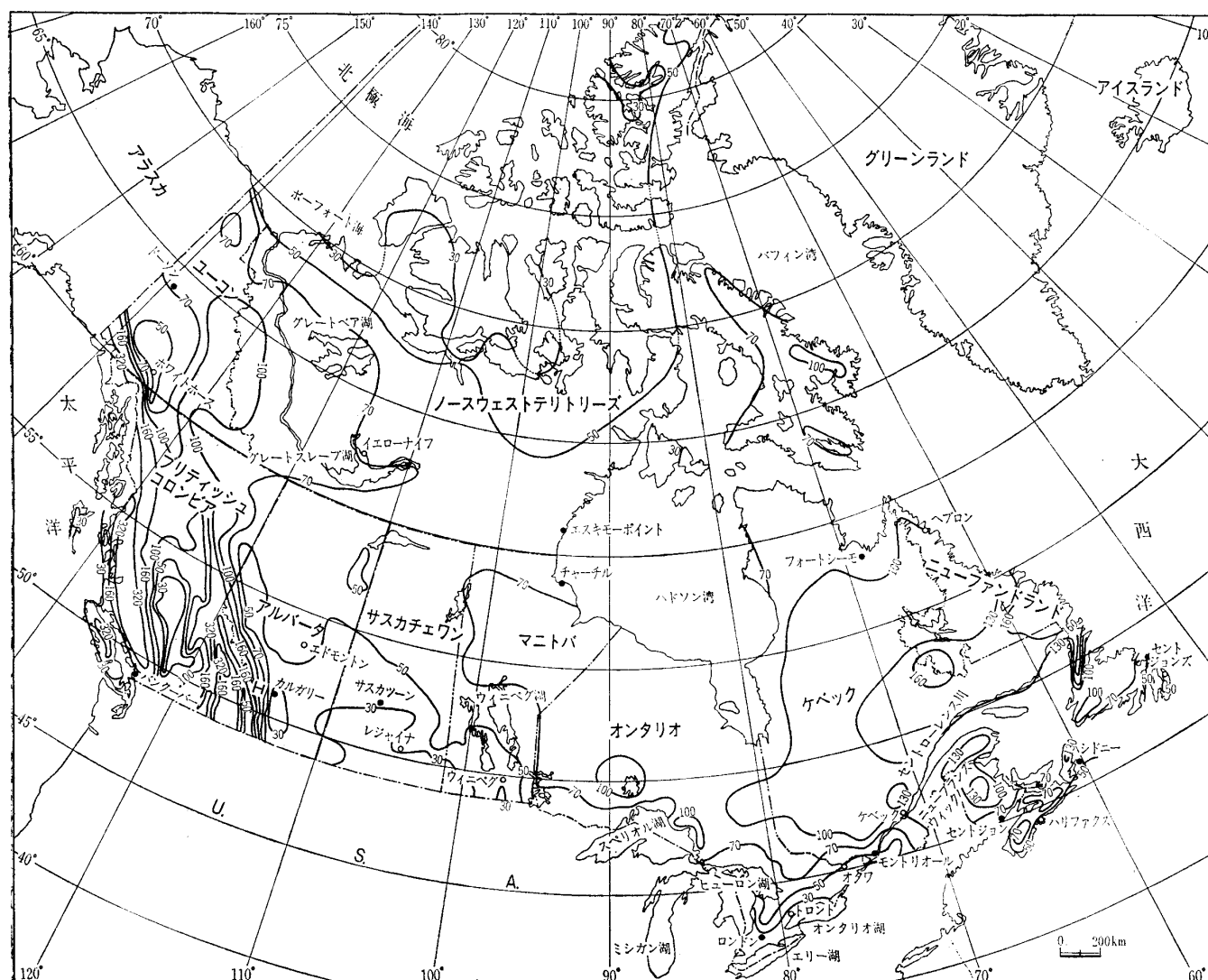


図-2.2 カナダにおける最大積雪深 (cm) の年平均 (Hydrological Atlas<sup>12)</sup>の原図を基に描き直したもの)

## 講座

## 2.3.1 雪氷研究の芽生え

ヨーロッパにおいては、氷河や雪崩が人々にとって身近なものであったように、我が国でのそれは雪であった。しかし、この身近さの中身は、その自然現象と人間との係わり具合で大いに異なっていた。すなわち、災害を及ぼさないような氷河や、わずかの雪は、人間にそれらに対する興味を抱かせたが、雪崩や大雪などの人間生活に害をもたらすものに対しては、興味どころか恐怖を抱かせた。しかも、この興味の程度は、それに接する機会が少ないほど強力であろうと考えられる。例えば、氷河の研究についてみれば、氷河を自国内に持たない英国グループが、現在でもこれに熱心であるが、この理由の一つは案外こういう所にあるのではなからうか。もっとも、自国内に氷河をもち、その研究もかなり熱心に行っているというカナダやフランスの例もあるのだが。他方、自然現象に対する興味よりも恐怖を除去すべく対策への関心がより高く、そちらの方面から研究が進められていると思われる例がある。すなわち、スイスでは自国内に多数の氷河を持つにもかかわらず、氷河の研究よりも、むしろ雪崩の研究が盛んである。ここには、連邦立の雪と雪崩に関する研究機関があるが、氷河については、そういうものはまだない。このように、氷河についてよりも、災害を及ぼすような雪崩現象に関して熱心に研究を進めているというのはいかにもスイス人らしい。

これと似たようなことが、我が国の雪氷の研究の歴史にも見られるのである。すなわち、雪害に悩まされることの少なかった北海道において、雪の学問的研究が栄え、大雪対策に従事せねばならなかった本州の方で、雪害対策の調査研究がより強力に進められてきたということである。これは、日本の古書においてもみられる。すなわち、土居利位による「雪華図説」<sup>14)</sup>は雪の少ない地方、それゆえ、雪は珍しい地方（古河）の殿様による自然観察の記述であるが、よく引合いに出されることで有名な鈴木牧之による書「北越雪譜」<sup>15)</sup>には、雪国における生活ぶり、特に大雪に悩まされる記述が多い。前者を自然科学的記述とすれば、後者は社会科学的記述といえようか。このようなわけで、日本の雪氷研究の発祥にも、雪の発生（すなわち雪の結晶）にまず視点をおいたものと、雪害という意識をもって雪をとらえたものとの二つの流れがあると考えられる。前者の流れは中谷宇吉郎の流れに、後者のそれは、平田徳太郎を始めとする、山口弘道、吉田重助、勝谷稔ら、および黒田正夫の流れにみられよう。中谷の場合には、雪の結晶の美しさという美意識もあったであろうが、雪害対策は根本からとらえねばならぬという考えのもとに、雪とは何かという点から研究をスタートさせたのではなからうか。その証拠の一つと思われることは、昭和8年9月に、当時の山形県新庄町に設立された、農林省経済更生部の積雪地方農村経済調査所（略称雪調）の初代所長の山口弘道主唱の積雪研究会（昭和11年9月発足）のメンバーの一員として、平田、

黒田らと共に、中谷も名を連ねていることである。雪害のみならず、自然災害防除にも大いに関心を払われたであろうことは、中谷の数々の著作<sup>16),17)</sup>からもうかがえる。

平田の研究の流れは、同氏が農林省に所属していた関係で、同省の人々に引き継がれた。黒田の方は、理化学研究所グループの流れである（もっとも、中谷も一時理研に在職した）。このように、我が国の雪氷研究の歴史をみると、そこには、大きく分けて二つの流れ、すなわち、一つは雪の結晶から、もう一つは、積雪から始まったものがあり、前者は雪への興味、後者は雪害対策を意識したものというようにとらえることができよう。雪の結晶の科学的調査研究が本格的に始められたのは中谷宇吉郎によってであり、現在の日本の雪氷研究の礎を作ったことは何人といえども否定できないものであるので、まず、中谷および中谷の流れを汲んだ人々の研究から話を進めていこう。

## 2.3.2 中谷宇吉郎による雪氷学の研究の流れ

中谷は2年間の英国留学終了後、まもなく北海道帝国大学へ奉職した（1930年）。1932年に着手した自然の雪の結晶の研究を基に人工の雪の結晶、霜、凍上、着氷、霧、農業物理、洪水、水資源調査、氷の単結晶、グリーンランド氷冠等々の、自らの研究はもちろんのこと、数々の指導や数多くの後継者を育成した。研究の中で、特にユニークなものは、人工雪の研究であるが、このために1935年に作った常時低温研究室<sup>18)</sup>は、後の低温科学研究所の発足（1941年）<sup>19)</sup>の一つの大きな足がかりとなった。現在では、常時低温室を作ることはそれほど珍しいことではなくなったが、昭和10年にこの様なものを作った当時は、かなりの困難があったに違いない。この常時低温室で行われた数々の人工雪の研究の成果は1949年に出版された「雪の結晶」<sup>20)</sup>あるいは1954年の「Snow Crystals」<sup>21)</sup>に余すところなく収められている。このエッセンスはいわゆる中谷ダイアグラムである。これは、雪の結晶の外形が、気温と湿度とによって決定されることを明らかにしたものである。この人工雪の結晶の研究は、小林楨作によって拡散型人工雪成長装置によって追試され（中谷が用いた装置は対流型装置であった）、小林はその後、この研究を結晶学的方面へと発展させた<sup>22),23)</sup>。

戦後の人工降雨実験を機に急速に発展した雲物理学の中に中谷の流れを発展させた孫野長治<sup>24)</sup>（現北大名誉教授）は、長年にわたる手稲山（札幌市郊外、1100m高）における雪の結晶の観察結果と中谷ダイアグラムとを比較したが、これらの間には大差ないことを確認した<sup>25)</sup>。更に、孫野がこの雲物理学の分野で育てた数多くの学生は、現在、雪氷学界や気象学界はもとより、多方面で活躍している。

東晃（北大工学部）は、六車二郎（現在東京水産大学）の協力の下に、中谷の単結晶氷の力学の研究の分野を継続し発展させた<sup>26)</sup>。すなわち、中谷が米国雪氷凍土研究所（Snow, Ice and Permafrost Research Establishment）で

行った単結晶氷の変形機構に、より統一的解釈を与えた。すなわち、中谷とは独自に行った実験により、単結晶氷の底面における容易すべり機構が、温度およびひずみ速度の関数としてうまく説明されることを見いだした<sup>27),28)</sup>。更に非底面すべりは、容易すべりよりもより大きい応力下で変形することを確認した<sup>29)</sup>。さらに、X線回折学の導入により<sup>30)</sup>、氷内部の転位の動きと変形機構とを結合させつつ、これらを基に、最近では氷床のダイナミックスの研究等に進んでいる<sup>31)</sup>。

中谷がその設立に寄与した北大の低温科学研究所は、吉田順五の尽力により現在のものにまで発展させられた。吉田は、世界で始めて積雪の物理学的性質の本格的かつ系統的研究にとり組み、現在の積雪学の基礎を作った<sup>32)</sup>。この成果を世界に問うた一つが、1966年に開催された低温研の開所25周年記念国際雪氷学会<sup>33),34)</sup>といえよう。これを機に、内外の国際交流が一段と活発なものとなった。現在の低温科学研究所の組織は大規模なもので、国内ではほかに類をみない。すなわち、昭和16年の設立時には、わずか6部門であったものが、現在はその倍の12部門となっている。それらは物理学、応用物理学、気象学、海洋学、雪害科学、凍上学、融雪科学、降雪物理学、植物凍害科学、動物学、生理学、生化学の各部門であり、それぞれの部門で、雪氷の各分野の研究が行われている。

上記の低温研で長らく活躍した黒岩大助（現在北海道工業大学）は、凝結核の研究への電子顕微鏡の導入や<sup>35)</sup>、積雪の誘電率の測定<sup>36)</sup>、振動法による積雪の粘弾性の測定<sup>37)</sup>、積雪の焼結現象の解明<sup>38)</sup>など特に電気的性質を含めた積雪の物性に関して業績を残した。以上は、北海道内にある主な研究グループであるが、同じく中谷の流れを汲む樋口敬二（名古屋大学水圏科学研究所）は、積雪のない名古屋において独自の雪氷研究分野を開拓した。すなわち我が国の雪渓台帳の作成<sup>39)</sup>を手始めに、1973年からはネパール氷河調査団の長として氷河と気候に関する調査を精力的に行い<sup>40)</sup>、最近では中国との学術交流にも窓口を開いた<sup>41)</sup>。

中谷教室卒ではないがやはり中谷の薫陶をうけた故莊田幹夫は、新潟県塩沢町にある国鉄の技術研究所において、実用化をめざした研究の中から、数々の基礎的な業績を残した。例えば、電線路の雪害対策研究の一環としての北陸型電線着雪条件<sup>注1)</sup>の確立はその一つである<sup>42)</sup>。また、ヘリコプターによる雪崩発生斜面の巡視や、今でも困難な雪崩発生地点へのヘリコプター着地による採取積雪試料からの発生面における弱層の発見はその好例である<sup>43)</sup>。種々の機関との協同で行われた人工雪崩実験の推進役であったと同時に、雪崩の動的挙動についても基礎的考察を進めた<sup>44)</sup>。

昭和41年、北大低温研から国立科学博物館へ転じた楠宏は、現在の国立極地研究所の設立に尽力するとともに、昭

和31年以来現在まで継続して行われている我が国の南極観測の中心人物の1人として活躍している<sup>45),46)</sup>。

上記の人々が、中谷から直接的な教えや指導などを受けて、現在雪氷学界を中心として活躍している研究者といえよう。

今までは、中谷の流れを中心に筆をすすめてきたが、ほかの研究機関に目を転じてみたい。

### 2.3.3 平田徳太郎、黒田正夫らの流れ

平田徳太郎<sup>47),48)</sup>や黒田正夫<sup>49),50)</sup>らの流れは現在の農林水産省林業試験場の高橋敏男、高橋喜平らに引き継がれ、現在石川政幸はその十日町試験地や釜淵試験地において斜面積雪の移動と林木との相関などの研究を進めている<sup>51)</sup>。

黒田正夫の数少ない弟子の1人である大沼匡之（現在自然環境科学研究所）は元の山形県新庄町の雪調（農林省）在任中に、ピンホール式積雪深自記計の開発<sup>52)</sup>を行った。また神室岳でのスノーサーベイに関してはいわゆる神室型スノーサンプラー<sup>53)</sup>を開発し、現在も用いられている。高田市（現在上越市）の北陸農業試験場へ転じた後も、本州の雪と取り組み、積雪の沈降力による果樹の雪害<sup>54)</sup>や融雪促進の研究<sup>55)</sup>など農業と雪とに関して数々の業績を残した。

日本雪氷学会の前身である日本雪氷協会発足（昭和14年）後しばらくの間は、気象庁関係の人々も雪氷の研究の推進に大いに携わった時代があった。すなわち、藤原咲平、福井英一郎（気候と雪）、畠山久尚（大気電気ほか）、伊東彊自、今井一郎（着氷）等々の人々であり<sup>56)</sup>、齊藤練一は積雪の研究を行っている<sup>57)</sup>。建築関係では、今和次郎、木村幸一郎、吉坂隆正の諸氏が、鉄道方面では防雪に関する諸問題（除排雪や凍上）が提起され<sup>58)</sup>、吹雪<sup>59)</sup>や送電路の着雪氷防止についての研究<sup>59),60)</sup>も進められた。関四郎（現在明電舎）の名もみられる<sup>61)</sup>。また、現在の建設省の前身である内務省による積雪道路上での交通に関し雪氷の実験もなされた<sup>62)</sup>。送電鉄塔への雪害対策については堀貞治や林潔らによって調査研究が進められた<sup>63),64)</sup>。この頃の雪氷の研究は、雪氷の研究No. 1, No. 2をはじめ、雪氷十年論文集（すべて日本雪氷協会刊）にまとめられている。また、雪氷の研究の歴史の一覧（1912～1954年）が莊田によってまとめられており<sup>65)</sup>、当時を概観するのに便利である。他方、1948年頃から1955年頃までのスノーサーベイの活動状況の概略は石原健二、福井篤によって要領よくまとめられている<sup>66)</sup>。

### 2.3.4 現況——38豪雪後

つい最近では56豪雪が、無雪国の人々に雪への関心を高めたが、その前は38豪雪である。これが日本の雪氷研究の歴史に与えた影響は当然のことながら大きく、吉田順五を長とする北陸豪雪の調査<sup>67)</sup>を基に、本州の雪国に在る大学にも雪氷研究の核が造られた。それらは、富山大学、福井大学等で大きく成長し、更にその後、弘前、山形、福島、新潟、秋田大学等でも雪氷の研究が進められるようになった。

注 1) 1972年、強風下の北海道稚内地方で発生した電線着雪現象を“北海道型”と呼ぶようになったので、この名がある。

## 講座

無雪国の京大でも最近では、中島暢太郎らの活動がある。他方、大学外にも雪氷に関する研究組織が作られた。国立防災科学技術センター雪害実験研究所であり(設立昭和39年)、5年後には山形県に同センター新庄支所が設立され、現在に至っている。上記のほかに、建設省の土木研究所新潟試験所にも雪氷グループがあり、更に上越国道工事事務所では国道7号の冬期開通およびその冬期維持に関して、除雪に関した積雪調査の現場の実績をもつ。北海道開発局土木試験所にも雪氷研究の歴史があり、最近では特に地吹雪の研究に異彩を放っている。雪国での高速道路の建設に伴って、日本道路公団にも雪氷対策試験室が設けられ種々の対策に取り組んできたが、これからの問題として、地吹雪時の交通安全対策をいかに樹立するかが、目前の最大難題であろう。電力や人員物資輸送のため東京電力、国鉄、建設省等では送電鉄塔や雪崩防止施設に加わる雪圧や沈降力の調査を長年にわたって行ってきたが、日本の雪質に見合ったより適確な対策の樹立が肝要である。また、東北・上越両新幹線の雪問題も大部分解決され開通も間近となった。最近の特徴として、各種民間会社による雪氷害対策の調査研究が挙げられる。雪氷研究者の層が厚くなり、かつ幅が広がることは慶ばしいことである。社会の進展に伴って変貌する雪氷災害の防除や、ひいては雪氷の利用も含めて、今後の雪氷研究者のより一層の邁進が望まれよう。

## 2.4 世界における雪氷研究の現況

この章は、昭和56年11月に知人、友人宛、計36機関52人に出した質問状の回答に基づいている。それゆえ、研究内容はおよそ1980年から1982年度のものである。中国については、56年秋に当支所を訪問された王良玮氏からの聴聞によっている。紙面が限られているので、国別に簡単に記述する。機関名は読者の通信の便を考慮して原則として外国語のままとした。住所も付記しておく。

### 2.4.1 カナダ

- i) Division of Chemistry, National Research Council (略称 NRC). Ottawa, K1A OR 9.

氷の高圧の実験でも名高い E. Whalley 博士の研究室では、引き続き氷の基礎に関する研究を行っている。例えば、最近のものには、272~133K 下での氷  $I_h$  の誘電的性質や、圧力下の水(液体)、氷 VI, VII, VIII の赤外スペクトル、そして、氷 VIII の遠赤外スペクトルに関する研究などがある。

- ii) Geotechnical Section, and Structures Section, Division of Building Research (略称 DBR), NRC. Ottawa, K1A OR 6.

Geotechnical Section の室長は、1966年に来日したことのある E. Penner 氏であり、前任者は L.W. Gold 博士(現在は DBR の副所長)である。DBR の研究のうち、雪氷に関するものは、上記の二つの研究室で行われていて、それらは次のとおり。屋根雪荷重(D.A. Tayler ほか)凍

上凍土現象(E. Penner)、淡水氷の変形と破壊(N.K. Sinha)、氷工学(R. Frederking)、雪崩工学(P.A. Schaefer)、海氷のレオロジーと強度(N.K. Sinha)、雪崩の危険評価(P.A. Schaefer)、積雪の力学の土質工学的把握(D. M. McClung)。

- iii) Low Temperature Laboratory, Division of Mechanical Engineering, NRC. Ottawa, K1A OR 6.

室長は T.R. Ringer 博士。大気中の雪の密度や視程に関する研究(J.R. Stallabrass)、鉄道機関車の換気システムによる雪ののみ込みに関する研究(J.R. Stallabrass)、高圧ジェット水による氷の切断(D.B. Coveney)、熱的に防護されている転てつ器のエネルギー保持制御法の研究(同上)、雪氷状態下においても作動しうような転てつ器の研究(T.R. Ringer)、雪氷除去に関する研究(T.R. Ringer, T. M. Mazur)。

- iv) Snow and Ice Division, National Hydrology Research Institute, Dept. of Environment. Ottawa, K1A OE 7.

筆者が1968年から2年間滞在していた研究機関であるが、名称が変わった。NHRI は、その名のとおりの研究機関であるが、ここでの研究のうち、特に雪と氷について紹介する。氷と永久凍土の力学的性質(S.J. Jones)、アイスコアを用いた気候変動の研究(G. Holdsworth)、山岳積雪の水文学(P.I. Perla)、不純物含有氷の誘電的性質(G.P. Johari)、雪氷情報およびデーターシステム(C.S.L. Ommanney)。このほか、陸氷、氷河に関する研究、更にリモートセンシング技術を用いた雪氷の研究も行われている。

- v) Ice Mechanics Laboratory, Dept. of Civil Engineering, Université Laval, Quebec, G1K 7P 4.

ここの主任は、B. Michel 教授。浮氷、特に河川氷の熱収支、氷の物理、特に構造物への氷の衝撃や極地氷の力学、湖水中の内部応力の研究など。研究費は主に、カナダの「National Sciences and Engineering Research Council」に仰いでいる。

### 2.4.2 アメリカ

- i) CRREL (Cold Regions Research and Engineering Laboratory), Corps of Engineers, Dept. of the Army. Hanover, N.H. 03755.

世界最大の規模を持っているといえよう。総勢約280名。その名のとおり、理工学的研究を幅広く行っているが、最近ではどちらかというと実用的仕事が多い。ここで全容を述べることは困難であるが、8分野に分類される。今までの研究目録(要旨)が CRREL TECHNICAL PUBLICATIONS として刊行されている。前身名は SIPRE。この Malcolm Mellor 博士が編集長で COLD REGIONS SCIENCE AND TECHNOLOGY (Elsevier Scientific Publishing Co. Ltd.) を発刊している。雪氷に関する基礎と応用の雑誌で、土木工学の読者には興味深いと思われる。

## i) Johannes Weertman 教授のグループ。

Dept. of Materials Science & Engineering, Dept. of Geological Sciences, and Materials Research Center, Northwestern University, Evanston, Ill. 60201.

三つの所属名からも分かるように、Weertman 教授は、幅広い分野で活躍している。物質・材料の力学的性質、特に破断（放射によるものも含む）のメカニズムや、地殻の断層現象や氷河、氷床の流動など、種々の物質の変形・破壊現象について精力的に研究を進めている。

## ii) Institute of Arctic and Alpine Research, U. of Colorado. Boulder, Col. 80302.

ここの所長は Jack Ives 博士である。なだれ地図の作成、スキー路への集雪に関する野外柵の応用や、このための雪の圧密実験、氷河地質学、氷河年代学、大陸棚沖合周辺の評価などを行っている。

## iv) Institute of Polar Studies, The Ohio State University. 125 South Oval Mall, Columbus, Ohio 43210.

1960年に設立された南北両極地を多方面から研究するセンターである。雪氷学や地球物理学などの自然科学系の分野はもちろんのこと、人類学や動物学など計24分野にわたる研究が、同大学内の他の学部との交流において行われている。大学卒業後の学位取得のための制度や PDF（学位取得後の奨学金）制度もある。

## v) Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences, U. of Colorado. Boulder, Col. 80309

この中の World Data Center A (Glaciology) では、雪氷に関する資料収集を行っており、世界各地から集められた文献が Key Words 別、および著者別に仕分けされ印刷刊行されている。Uwe Radok 博士は現在ここに所属している。

## vi) Dept. of Civil Engineering and Engineering Mechanics, Montana State U., Bozeman, Mont. 59717.

昨56年秋に、日米科学技術協力（非エネルギー分野）推進の一環として来日した Theodore E. Lang 教授が所属している所で、雪崩に関する研究を行っている。以下に研究テーマなどを記す。雪中の破断伝ば（R.G. Oakbert, 1980～'83年間で96 000ドル）、R.L. Brown 博士のテーマは、⑧乾雪中の衝撃波伝ば（3年間で97 000ドル）、⑨乾いた積雪の温度勾配下における変態の研究（4年間で26 000ドル）、⑩湿雪中の衝撃波伝ば（2年間で46 000ドル）、⑪山の風下側での堆雪の推定（1年間9 600ドル）。

## vi) Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Dept. of Agriculture. Fort Collins, Col. 80526.

Mario Martinelli, Jr. 博士はここの雪関係の研究リーダーであり、前記の昨秋の訪日団の団長として Lang 博士は

か4名と国内を視察していった。当組織内の雪関係の研究者は10名であり、山地の雪と雪崩に関する研究を行っている。例えば、積雪表面や積雪内部での雪の強度変化を察知する方法の開発や、雪崩の到達距離や衝撃力の決定。また、コロラド州における雪崩警報プランの運用などであり、研究費は一概にはいえないが、年間78万ドル位、このうち、約56万ドルが給料やら経常支出なので、結局、研究者1人当りは、平均すると、約22 000ドル。2年ほど前、道開発局の土木試験所に滞在していた Ronald D. Tabler 博士は、このグループの一員である。

## vii) Forestry Sciences Laboratory, Pacific Northwest Forest and Range Experimental Station, Dept. of Agriculture. Juneau, Alaska 99802.

Douglas N. Swanston 博士（昨秋の訪日団の一員）の所属する所で、融雪水の浸透による土砂崩壊に関する仕事が多い。地中の水位検出に関して関心が高く、その報告書もある。

## ix) Microphysics Group, Convective Storms Division, National Center for Atmospheric Research (略称 NCAR). Boulder, Col. 80307.

以前、北大の東晃研究室に滞在したことのある Charles Knight 博士御夫妻がおられる。ここでは対流雲中での固形降水の形成に関連する氷の仕事をしている。それには形成過程のコンピューターによるモデル化、雹や霰の構造、雹中の  $H^2$  の量、雪の結晶成長と着氷の研究などが含まれる。また、霧水量や気温、雲粒の大きさと空間濃度などの測器の研究も行っている。ここでの仕事の大半は大規模の協同野外研究から生ずるデータの解析を含んでいる。その研究課題名は次のとおり。

NHRE (National Hail Research Experiment), SESA ME (Severe Environmental Storms and Mesoscale Experiment), TRIP (Thunderstorm Research International Project), CCOPE (Cooperative Convective Precipitation Experiment).

ここの室の82年度の年間経費は80万ドルである（必ずしもこの経費すべてが氷に関するものではない）。

## x) Cloud Physics Observatory, Dept. of Meteorology, U. of Hawaii, Hilo, Hawaii 96720.

孫野教室出身の高橋勲教授が活躍している。雲物理学の研究分野で、降水の観測をはじめとして、理論的考察、コンピューター利用等精力的に行っている。

## 2.4.3 ヨーロッパ

## i) Eidgenössisches Institut für Schnee-und Lawinenforschung. 7260 Weissfluhjoch/Davos, Schweiz.

現所長は1966年来日したことのある Claude F. Jaccard 博士。長年所長を務めていた M.R. de Quervain 博士のあとを2年前に引き継いだ。総勢32名（物理学者5名、森林工学者1、土木工学者2、水文学者1）。組織的には、連邦森

## 講 座

林サービスの一部門。4つの研究室のほかに、雪崩サービス、ならびに補助サービス部門(文書、写真、設計、機械、電気、管理)がある。第1研究室(室長は Paul M.B. Föhn 博士)は気象と雪と雪崩。第2(Bruno Salm 博士が室長)は雪の力学と工学。第3(H.R. in der Gand 室長)は雪と森林工学。第4(W. Good 博士が室長)は積雪と氷の物理学。ここではトモグラフを用いて、積雪を表現しようとしている。雪や雪崩についての研究活動のほか、コンサル活動や専門意見の供述、スイスにおける雪崩の予報や教育活動などを行っている。全予算は2.9百万スイスフラン(1981年度)。

- ii) Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement, Centre National de la Recherche Scientifique, Ministère des Universités. 38031 Grenoble-Cedex, France.

所長は L.A. Lliboutry 教授。1979年までは“Laboratoire de Glaciologie”という名前であったが、より幅広い分野をカバーするというので、上記の現在名に変えられた。この研究所の運営委員には、氷の内部摩擦の研究をしている Lyon の P.F. Gobin 教授の名も見出される。氷(雪)、氷河および氷河の変動に関して気候の長期変動と大気汚染濃度の関係などの研究を行っている。

- iii) Glaciology Research Group, Dept. of Physics, U. of Bristol. Bristol, BS 8 1TL, England.

このグループ長は、J.F. Nye 教授。ほかに M.E.R. Walford 博士と現在2人の学生がいる。自然界にある氷を理解するために、理論的、実験的仕事のほかに野外活動を行っている。最近、氷床のラジオエコー探査のための新しい“phase-sensitive techniques”の開発に力を注いでいる。この研究は、転じて波列の特異性や光学的火線の理論的研究に連がるものである。また、岩石の凍裂実験や温暖氷河の顕微鏡的構造についての各種の実験なども行っている。

- iv) Norwegian Geotechnical Institute(NGI). Oslo 8, Norway.

土質工学者の方々には馴染みの深い Karl Terzaghi 教授の記念図書室があるところである。この中に雪崩グループがあり、グループ長はまだ若い Karstein Lied 博士である。このグループは10名内外であるが、今年の春から、Harold Norem 博士(以前は Royal Research Laboratory にて、主に吹雪防止柵の仕事に従事していた)もこのグループに加わったはずである。自然の災害制御のための研究や技術相談に応じている。また、研究会の開催や、土地利用計画に従事しているコンサルタントや建築専門家に対する自然災害の評価についての講義も行っている。主な研究題目は、災害危険地図の作成、雪崩の到達点、雪圧、雪崩発生機構、雪崩による波動の発生と減衰等の雪崩に関するもののほか、落石や rock slide の動的挙動やその到達距離に関

する仕事もしている。

## 2.4.4 中 国

中国科学院兰州冰川凍土研究所(Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology, Academia Sinica. Lanzhou, Gansu, 730 000, People's Republic of China)

2年前に来日された施雅風博士が所長。研究系には3つの研究室がある。すなわち、氷河(60人)、凍土(80人)、土石流(20人)の研究室である。技術系には、測器室(先日訪日した王氏が長、25人)、分析室(13人)、地図室(25人)、資料室、図書館がある。このほか、事務系(100名)には、総務、会計、人事、警務、自動車、工作、住房(所付属の託児所や官舎に係ること)、食堂などが含まれている。氷河研究室では、氷河の運動、気象、熱収支などを、凍土研究室では青海省や西藏での凍土の調査、冷凍法の研究をしている。研究系は所長(教授)のほか、副教授9名、講師が50名、ほかに実験員、事務員、実習員がいる。技術系では高級技師1名(王氏)のほか、技師が30名、技術員、事務員、工人(労務員)がいる。総勢300名以上。蘭州には、このほかに沙漠、高原大気および地質に関する研究所がある。

オーストラリアの N.H. Fletcher 教授やオタワ大学の A.S. Krausz 教授は現在氷の仕事から遠ざかっている由。また氷河の研究をしていた W.S.B. Paterson 博士は現在カナダの British Columbia にて次の研究のため準備中とのことである。

## 2.5 あとがき

雪は冒頭にも述べたごとく、人間にとってあまりにも身近にあるがゆえに、一見、何人にも簡単に手を出せそうに思われるのではあるが、先人の労作を顧みることなく、また雪氷の粘弾塑性等の正しい理解と把握なしに雪害対策を行おうとすることは、むしろ問題の解決を遅らせることになるのではないかと危惧するものであるが、筆者の取越苦労であれば幸である。

雪氷研究の歴史と現況について稿をまとめたが、筆者の浅学菲才のため調査対象の偏依や遺漏のあることを恐れるものである。日本の現況については簡単に触れた。我が国の雪氷研究の歴史の項では、不本意ながら敬称を略した。恩師、諸先輩の御寛容を乞うものである。図-2.1(原図は日本雪氷学会で保管中のものを使用させていただいた)、図-2.2の再録をそれぞれ快諾された胡汝驥、Bruce Findlay 両氏を始め黄茂桓、L.W. Gold、C. Simon L. Ommanney 氏等国内外の恩師、諸先輩、友人達から種々の御助力を賜った。記して厚く感謝の意を表わすものである。図-2.1、2.2の作成にご助力下さった黒坂由貴子、笹原恵子両嬢にも感謝するものである。最後に、この講座に執筆の場を与えて下さった広部良輔氏に謝意を表するものである。

## 引用文献

- 1) 気象学ハンドブック編集委員会編：気象学ハンドブック，pp. 1-1374，技報堂，1958.
- 2) Nakamura, T.: Snow, Snow Disasters and Prevention Techniques against them in Japan, Technology for Disaster Prevention, 4, pp. 253-312, 1980.
- 3) 中村秀臣・阿部 修：新庄における新積雪の密度，国立防災科学技術センター研究報告，pp. 243-250, 1978.
- 4) 五十嵐高志・清水増治郎・監物勝英：北陸地方平野部における雪質に関する調査(II)，雪害実験研究所報告，pp. 29-70, 1967.
- 5) ケベック市土木部資料，1980.
- 6) 新潟県地誌研究会編著：新潟県の雪，pp. 1-235, 1976.
- 7) 気象庁予報部：災害時自然現象報告書，No. 1, pp. 1-49, 1981.
- 8) 吉田順五：雪の科学，pp. 1-300，日本放送出版協会，1971.
- 9) 小林禎作：雪の結晶，pp. 1-304，講談社，1970.
- 10) 日本積雪連合：雪の気候図，pp. 1-82, 1949.
- 11) 胡汝驥（中国科学院新疆地理研究所雪氷研究室）私信.
- 12) Fisheries and Environment Canada: Hydrological Atlas of Canada, pp. 1-34, 1978.
- 13) 中村 勉：北欧・カナダに学ぶ(山形県克雪調査団レポート)，山形新聞，1980年2月28日.
- 14) 小林禎作：雪華図説(新)考，築地書館，1968(1982).
- 15) 鈴木牧之：北越雪譜，pp. 1-317，岩波文庫，1976.
- 16) 故中谷宇吉郎博士追悼特集，雪氷，24，pp. 137-182, 1962.
- 17) 中谷宇吉郎教授の追悼文ならびに業績・年譜，北大地球物理学研究報告，10，pp. 1-15, 1963.
- 18) 人工雪誕生の地(北海道大学常時低温研究室小史)，pp. 1-19, 1979.
- 19) 北海道大学：北大百年史(部局史)，pp. 1149-1205, 1980.
- 20) 中谷宇吉郎：雪の結晶，pp. 1-319，岩波書店，1949.
- 21) Nakaya, U.: Snow Crystals, Harvard University, pp. 1-510, 1954.
- 22) Kobayashi, T., Furukawa, Y. and Takahashi, T.: Cubic Structure Models at the Junctions in Polycrystalline Snow Crystals, J. Crystal Growth, 35, pp. 262-268, 1976.
- 23) 小林禎作：雪の結晶の最近の研究から，冷凍，57，651，pp. 37-45, 1982.
- 24) Magono, C.: Selected Papers, Sapporo, 1980.
- 25) Magono, C., and Lee, C.W.: Meteorological Classification of Natural Snow Crystals, J. Fac. Sci., Hokkaido U., Ser. VII (Geophysics), 2, pp. 321-335, 1966.
- 26) Higashi, A.: Mechanical Properties of Ice Single Crystals, Physics of Ice (Plenum Press), pp. 197-212, 1969.
- 27) Higashi, A., Koinuma, S. and Mae, S.: Plastic Yielding in Ice Single Crystals, Jap. J. Appl. Phys. 3, pp. 610-616, 1964.
- 28) Higashi, A., Koinuma, S. and Mae, S.: Bending Creep of Ice Single Crystals, Jap. J. Appl. Phys. 4, pp. 575-582, 1965.
- 29) Higashi, A., Mae, S. and Fukuda, A.: Strength of Ice Single Crystals in Relation to the Dislocation Structure, Proc. Int. Conf. on Strength of Metals and Alloys, pp. 784-789, 1968.
- 30) Fukuda, A. and Higashi, A.: X-ray Diffraction Topographic Studies of the Deformation Behaviour of Ice Single Crystals, Physics of Ice (Plenum Press), pp. 239-250, 1969.
- 31) 東 晃(研究代表者)：氷床のダイナミックス，国立極地研究所，pp. 1-40, 1981.
- 32) Yosida, Z. and Colleagues: Physical Studies on Deposited Snow. I, II & III, Contributions from the Institute of Low Temperature Science, No. 7 (74 pp.), 9 (81 pp.) and 11 (41 pp.), 1955, '56 and '57.
- 33) 北海道大学低温科学研究所創立25周年記念低温科学国際会議，雪氷，28，pp. 115-149, 1966.
- 34) Oura, H., ed.: Physics of Snow and Ice, I, 1 & 2, Institute of Low Temperature Science, Hokkaido U., pp. 1-1414, 1967.
- 35) Kuroiwa, D.: Electron-microscope Study of Fog Nuclei, J. of Meteor., 8, 1951.
- 36) 黒岩大助：積雪の誘電的性質，低温科学，8，pp. 1-58, 1951.
- 37) Kuroiwa, D.: Internal Friction of Ice, Contributions from the Inst. Low Temp. Sci., Hokkaido U., A, 18, pp. 1-62, 1964.
- 38) 黒岩大助：積雪のIce-Bondingにともなう弾性率，内部摩擦の変化ならびに氷の焼結機構に関する研究，低温科学，A, 19，pp. 1-36, 1960.
- 39) Higuchi, K. and Iozawa, T.: Atlas of Perennial Snow Patches in Central Japan, Water Res. Lab., Fac. of Sci., Nagoya U., pp. 1-81, 1971.
- 40) Higuchi, K., Nakajima, C. and Kusunoki, K., Ed.: Glaciers and Climates of Nepal Himalayas, Seppyo, Special Issue, Vols. 38, 39, 40 and 41, 1976, '77, '78 & '80.
- 41) 日本雪氷学会昭和54年度秋季研究発表大会報告，雪氷，41，p. 293, 1979.
- 42) 荘田幹夫：着雪の研究，雪氷の研究，No. 1, pp. 50-72, 1953.
- 43) 荘田幹夫：なだれの発生機構に関する研究，防災科学技術総合研究報告，3号，pp. 3-28, 1965.
- 44) Shoda, M.: An Experimental Study on Dynamics of Avalanching Snow, I.A.S.H. Publication No. 69, pp. 215-229d, 1965.
- 45) 楠 宏・鳥居鉄也・原田美道・山懸 登・吉田栄夫編：南極，共立出版，pp. 1-741, 1973.
- 46) Kusunoki, K. and Suzuki, Y., ed.: Ice-Coring Project at Mizuho Station, East Antarctica, 1970-1975, National Institute of Polar Research, pp. 1-172, 1978.
- 47) 平田徳太郎：積雪の科学，地人書館，pp. 1-210, 1948.
- 48) 平田先生を偲んで(座談会)，雪氷，22，pp. 157-168, 1960.
- 49) Kuroda, M.: Thermal Conductivity of Snow, Sci. Papers of the Inst. of Phys. and Chem. Res., 12, 1929 (「雪氷十年」に再録有).
- 50) 大沼匡之：黒田先生を偲んで，雪氷，43，pp. 259-260, 1981.
- 51) 石川政幸：森林と積雪，森林学，共立出版，pp. 406-418, 1978.
- 52) 大沼匡之：積雪の測定に関する研究，農業総合研究所，雪の研究第6号，pp. 1-73, 1958.
- 53) 大沼匡之：Snow Sampler の押込抵抗について，雪氷，20，pp. 65-70, 1958.
- 54) 小林一雄・大沼匡之・高橋久三郎：積雪の沈降力による果樹の被害，北陸農試報告19号，pp. 179-207, 1976.
- 55) 大沼匡之・小林一雄・高橋久三郎・村松謙生：融雪促進に関する研究，同上15号，pp. 135-198, 1973.
- 56) 日本雪氷協会月報，1，1939.
- 57) Saito, R.: Physics of Fallen Snow, Geophysical Magazine, Central Meteorological Observatory, 19, pp. 1-56, 1949.
- 58) 新井秀雄・塩谷正雄・小笠原泰蔵：ふぶきについて，雪氷，15，pp. 1-5, 1953.
- 59) 大北至盛：電線の着氷現象と通信路の雪害観察，雪氷，5，1，pp. 2-11, 1943.
- 60) 林 潔・相木一男・柏村良一：送電線着雪の観測，雪氷の研究 No. 1, pp. 73-80, 1953.
- 61) 関 四郎：鉄道電化と雪，同上，pp. 7-12, 1953.
- 62) 金森誠三：雪の土木工事に対する利用，論文集，日本雪氷協会，1，pp. 171-182, 1940.
- 63) 堀 貞治：電源開発と雪の研究，雪氷の研究，No. 1, pp. 1-6, 1953.
- 64) 林 潔・古市千太郎・島田 潔：鉄塔脚部に加わる積雪の沈降力，同上，pp. 180-188, 1953.
- 65) 荘田幹夫：積雪研究の年表，同上，226頁と227頁の間，1953.
- 66) 石原健二・福井 篤：日本における雪量調査事例，雪氷の研究 No. 2, pp. 203-246, 1955.
- 67) 吉田順五：積雪災害の基礎的研究，北大低温研，pp. 1-67, 1969. (原稿受理 1982. 4. 26)