

太陽熱による屋根雪融解に関する予備実験

木村 忠志*・清水 増治郎*

国立防災科学技術センター雪害実験研究所

Preliminary Experiment for the Melting of Snow on the Roof by the Use of Solar Energy

By

Tadashi Kimura and Masujiro Shimizu

Institute of Snow and Ice Studies, National Research Center for Disaster Prevention, Suyoshi, Nagaoka, Niigata-ken 940, Japan

Abstract

During the period from 19 January to 11 February 1977, preliminary experiments for the melting of the snow on the roof by the use of solar energy were carried out at Nagaoka, Niigata-ken, Japan. As the experimental apparatus for this work a roof of 1.2 m^2 was set on a cubic room of about 1 m^3 which was open to the south with a vertical window of 0.94 m^2 but not equipped with any heat reservoir.

In the whole period of the experiment, the solar radiation which got into the window of the apparatus and was effective for the melting of the snow on the roof was about 37% of the total solar radiation, and the total amount of water produced by melting of the snow on the roof was 172.5 kg/m^2 , and the weight percentage of the water from the melting of snow to the total snowfall was 90%. On the other hand, the mean value of daily cumulative solar radiation from December 1976 to January 1977 was nearly half the value of the experimental period. From these results, the possibility that the water amount from snow melted by solar radiation only reaches about 300 kg/m^2 in the snowfall season in the Niigata-ken district (from December to February) is derived.

1. 序 論

新潟県など温暖な多雪地帯における市制施行地の屋根雪処理の実態は、世界最多雪都市である新潟県十日町市で代表され得る。ここでは最大積雪の深さの40年平均値が、2.5m、このときの積雪重量は、積雪層の平均密度を 0.35 t/m^3 (木村忠志, 1977) として 0.88 t/m^2 であり、これが12月中旬から3月上旬にかけての、およそ80日の降雪期間に降り積もる。一方、新潟県の建築基準法施行令関連諸条令と細則によれば、新潟県内の建物は、人力による雪おろしの実施を必要条件として、十日町市のようなところでも最低 420 kg/m^2 の長期積雪

* 第2研究室

荷重に耐えるように作ればよいことになっている(木村, 1977)。ここに屋根雪処理の必要な現状がある。

屋根雪処理の実用的な方法のひとつとして、自然落下方式(木村幸一郎, 1943, 1945)がある。これは所要エネルギーがゼロという特長をもっているが、大量の落雪のたまるスペースが建物の周囲に必要なため、多雪地帯においては建ぺい率 50% 以下であることが実施の必要条件(十日町市, 1973)(木村, 1977)であり、建ぺい率が 80% 以上にもおよぶ市街地には適当でない。また、屋根雪荷重を 1 t/m^2 以上として、どのような豪雪にも耐え得る建物を作ることは、短期間の降雪期のみに対処する方策としては抵抗がある。それで、建物密集地の屋根雪処理は、人力による雪おろしと、おろした雪の機械力による搬出・投棄作業の組みあわせによってなされているのが現状*であるが、近年、雪おろし人力の確保が次第に困難化しており、加熱による屋根雪の融解処理が必要となってきた。この目的のためには、地下水を屋根上に散布して、地下水の熱量により融雪を行なう方法(木村ほか, 1975)があるが、この方法は、地下水量が豊富で、かつ、地下水使用によって地盤沈下などの2次災害が発生しない地域でのみ実用可能であり、一般的な方法でないばかりでなく、最近では、この方法がひろく実用されていた新潟県長岡市においてさえ、地下水の大量消費(湯原浩三・北岡豪一, 1973)に伴う地下水位の低下によって井戸の掘削深度が増大し、実用が困難となりつつある。一方、化石燃料などを熱源とする屋根雪の融解処理方法が、基礎的に研究されており(木村・清水増治郎, 1969, 1970, 1971)(木村, 1974)(木村, 1975)(木村ほか, 1975)(木村, 1977)、人力の1/3程度の費用で十日町市における実用が可能という見通しもついているが、屋根面積 100 m^2 当り、灯油で 950 l を一冬に消費してしまうため、資源エネルギー節約の見地からは問題がある。

以上の背景により、太陽熱による屋根雪処理の可能性についての実験を、新潟県長岡市で行なった。新潟県の12月および1月の全天日射量平均値は、 $1.6 \text{ Mcal/m}^2 \cdot \text{day}$ (村井潔三, 1975)(田中俊六, 1977)で、降雪期間における総量は 128 Mcal/m^2 となる。一方、新潟県十日町市における一冬の屋根雪処理量は、残留屋根雪量(木村・清水, 1969~1971)を 0.2 t/m^2 とし、これを融かすには 54.4 Mcal/m^2 の熱量を必要とするが、この値はうえにのべた全天日射量80日分の43%程度である。それで、エネルギー的には、太陽熱による屋根雪処理の可能性は大きいと考えられる。また、太陽熱収集システムは、給湯などの熱源として、屋根雪処理の不要な期間においても施設利用が可能というメリットもある。このような予想のもとに、以下に記述する集熱・融雪実験を実施した。

2. 実験装置と測定要素

図1に今回使用した実験屋根の横方向からみた断面を示す。屋根面には市販の波形鉄板1

* 新潟県小千谷市および十日町市

枚を使用して、鉄アングル材の雪止めをつけ、北に向けて 2.5° の勾配をもたせた。波形鉄板は波形に沿った方向の曲げに強く、波形と直角な方向に支持材を入れるのみで、耐荷重が大きく熱伝導の良好な屋根を作ることができるほか、融雪時に屋根雪とほぼ完全に密着し、屋根雪と屋根面の間に空洞が発生して融解をさまたげることがない(木村ほか, 1975)(木村, 1977)。実験屋根の屋根面積は 1.2 m^2 で、軒先部分を 10 cm とした。屋根の下には体積 1 m^3 のほぼ立方体の空気室をつけた。この空気室の幅は奥行と等しい。空気室の前面は高さ 130 cm で南向きであり、 97 cm 角の集熱窓を設けた。集熱窓は厚さ 3 mm のガラス板を 1 cm 間隔で3重に固定し、パテで十分に密閉した。空気室の両側壁と後壁および床は、厚さ 5 cm のスタイロフォーム板で断熱し、日射の吸収板として屋根面と同じ波形鉄板を内張りした。これらの内張り表面と屋根面裏側は、黒色つや消しラッカーで塗装した。集熱窓から入射した日射は空気室の内張りに吸収されて熱に変換される。この熱は空気室内の空気の対流と、昇温した内張りからの再放射によって屋根面裏側に伝えられ、屋根雪を融かす。軒先には市販の塩化ビニール製雨樋をつけて、融出水をポリエチレン製の 20 l 入りタンクに集め、1時間おきに融出水量を測定して融雪に要した熱量を計算した。融出水量の測定にはメスシリンダーをもちいたが、測定精度は 0.5 ml の程度である。融出水量の測定と並行して、南向き垂直面への日射量を測定し、この値と融雪に要した熱量を比較した。また、水平面日射量も同時測定した。これらの日射量の測定には、それぞれゴルチンスキー型の日射計を使用した。実験屋根の内部には、屋根面直下の気温を測るために、白金抵抗線温度計の感部を、屋根面裏側からわづかにはなして固定した。

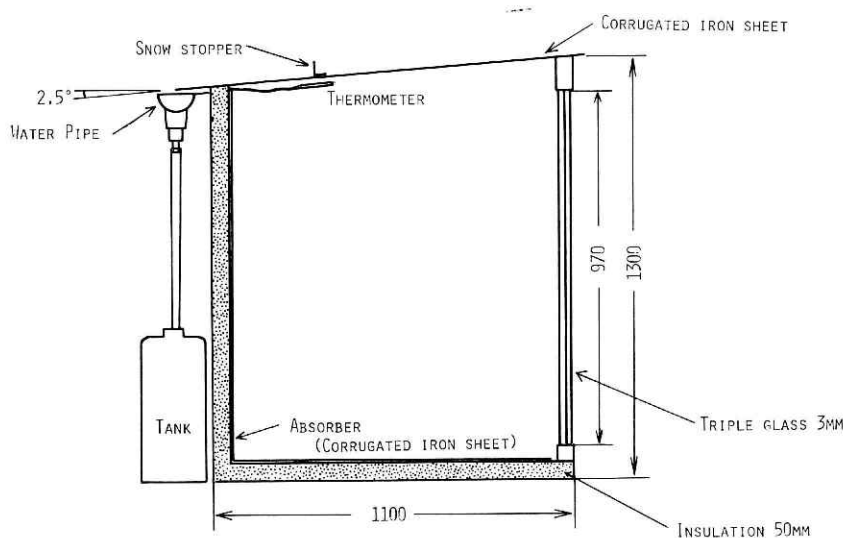


図 1 実験屋根断面図
 Fig. 1 Cross section of experimental roof.

実験屋根上の屋根雪は、屋根面における加熱によって融けるほかに、外気温および直達日射によって表面からも融ける。このため、実験屋根と同一の形状と勾配をもたせ、空気室および集熱窓をつけず、屋根面裏側をスタイロフォーム板で断熱した比較屋根を実験屋根の近くに設置し、外気温および直達日射による融雪量、すなわち自然融出水量を同時測定して補正を行なった。この補正の精度は、屋根面積 1 m^2 当り 10 ml の程度とみなされる(木村・清水, 1970)。

写真1に実験装置の設置状況を示す。右側が実験屋根で左側が比較屋根である。それぞれ地上高 1.8 m の架台上に固定し、装置が積雪に埋没しないようにした。南向き垂直面日射量測定用の日射計は、比較屋根の前方の支柱に固定した。水平面日射量は、地上高 12 m に設置した日射計によって測定した。

3. 日 射 量

実験は、1977年1月19日から同2月11日まで、国立防災科学技術センター雪害実験研究所構内(新潟県長岡市栖吉町)で行なった。図2に、実験期間を含む1976年12月から1977年2月までの全天日射量(水平面日射量)の日積算値を示す。この期間は実験地における降雪期の後半に含まれるが、今冬は12月下旬から1月上旬にかけて、52・1豪雪と称する降雪があった後、ほぼ平年並の降雪が継続し、2月下旬以後は融雪期に入った。図2の縦軸は日射量で、単位は ly/day 、数値の $1/100$ が $1\text{ Mcal/m}^2\cdot\text{day}$ になる。横軸には日付をとった。

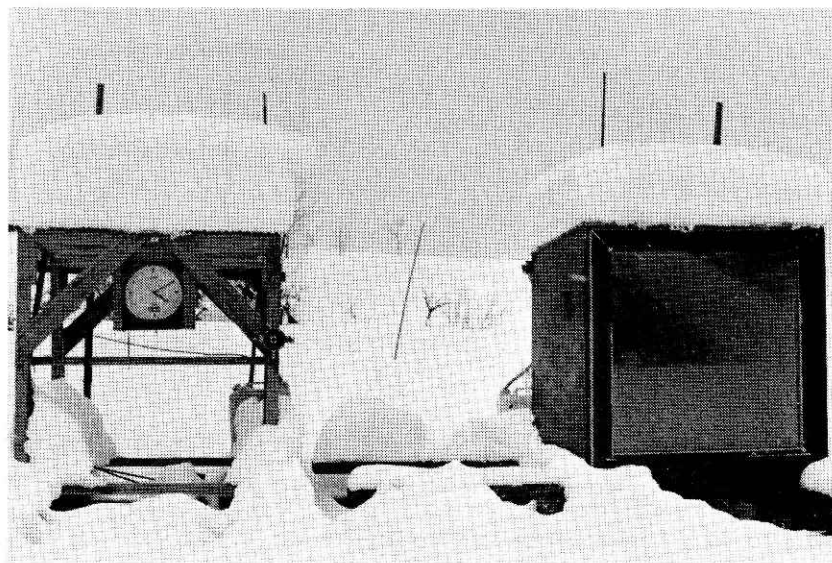


写真1 実験屋根(右)と比較屋根(左)
Phot. 1 Experimental roof (right) and comparative roof (left).

た。横軸下の矢印は実験期間を示す。実験期間中の日積算日射量の平均値は 160 ly/day よりわずかに少ないが、ほぼ平年並と考えてよいであろう。これに対して12月から1月上旬にかけての平均値はおよそ 80 ly/day で、実験期間中のほぼ半分である。これは、52・1 豪雪の効果であろう。

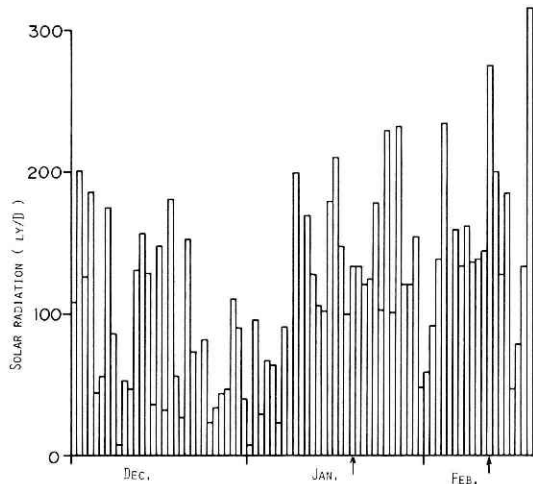


図 2 1976 年 12 月—1977 年 2 月の日積算日射量
 Fig. 2 Daily cumulative solar radiation from December 1976 to February 1977.

4. 屋根雪の融出状況

図 3 に実験期間中の気象状況と融雪状況、屋根裏気温の変化を示す。横軸は日付で、上下 2 段にわけて示した。縦軸は上側に日降水量 (mm/D)、融出水量日積算値 (l & mm/D)、南向き垂直面日射量の日積算値 ($\times 10$ ly/D)。下側に温度 ($^{\circ}\text{C}$) をそれぞれとり、白ぬき、黒ぬり、ハッチングの各柱状図で降水量、融出水量、南向き垂直面日射量を、実線で屋根裏気温、点線で外気温をそれぞれ示した。図中の * 印は融出水量の欠測日を示す。実験期間中は外気温が 0°C 以下の日が多く、全体的にみて自然融出水量は大量ではなかった。記入した融出水量には自然融出水量を補正した。屋根裏気温は日射の多い日にはかなり高くなり、たとえば 1 月 27 日には 45°C 近くまで昇温している。しかし、1 月 27 日には融出水量は少ない。これは融けるべき屋根雪がなくなってしまったためであって、屋根雪による冷却がないため、高温になったものと考えられる。屋根雪のある場合には、日射の多い日でも最高温度は 30°C 以下になっている。* 印の日の日射量および降水量は、あとで述べる集計値には加算していない。

図 4 に、南向き垂直面日射量と、同時測定した全天日射量それぞれの日積算値の比較を示す。縦軸は南向き垂直面日射量、横軸は全天日射量で単位はどちらも ly/D、実線は両者が

等しい場合を意味する。1月の値は●，2月上旬のものは○，他は×で区別した。1月中については，垂直面日射量がほぼ50%増の日が多く，晴天が比較的多かったことを示している。2月については両者がほぼ等しいことが多く，曇天の多かったことがうかがわれる。

5. 融雪効率と融雪量

毎日の融雪実験は，0900時頃，融解水の融出開始とともに計測を開始し，1700時もしくは1800時頃，融出が停止するまでつづけ，1日単位でまとめた。図5に測定結果を示す。図5の縦軸は融出水量の日積算値(L/D)で横軸は南向き垂直面日射量の日積算値(ly/D)をとった。図中の斜線は集熱・融雪効率の等値線である。各プロットは，実験の各回ごとの融出水量別に，4段階に区分して示した。融出水量には自然融出水量を補正してある。南向き垂直面日射量の日積算値が200 ly/D以上の場合，集熱・融雪効率がほぼ40~50%の範囲に分布している。また100 ly/D付近には融出水量の少ない場合が集中している。この結果から，200 ly/D以上では，集熱・融雪効率の平均値を45%としてよいであろう。

図6に全実験期間の総合実績を示す。右側は南向き垂直面に入射した太陽熱の合計値44.9

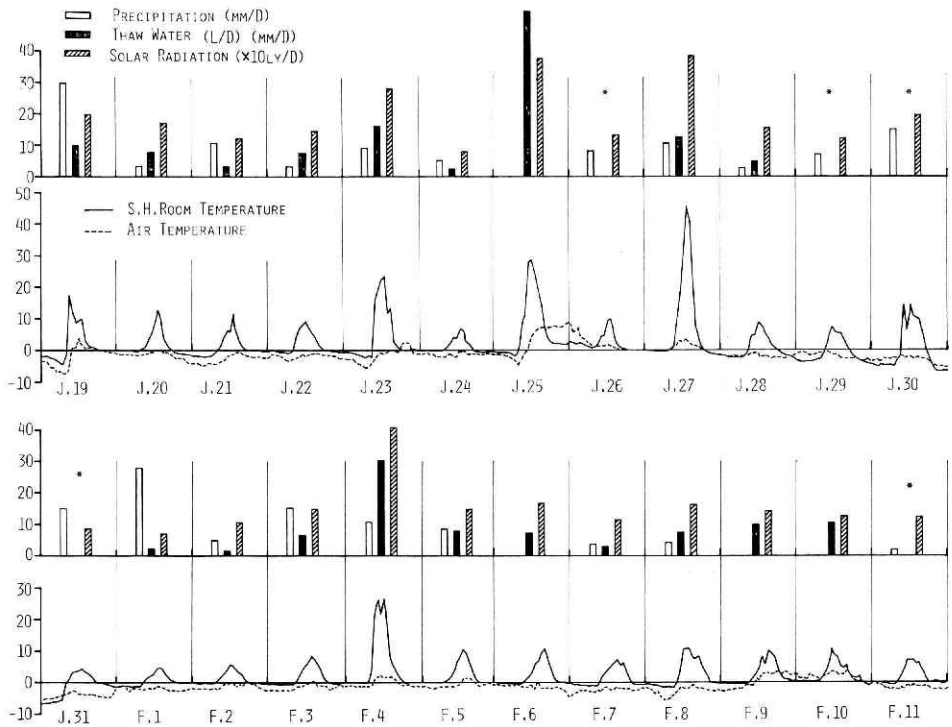


図3 実験期間中の気象状況と融雪状況，屋根裏温度
 Fig. 3 Meteorological conditions and the temperature within attic during the period of experiment.

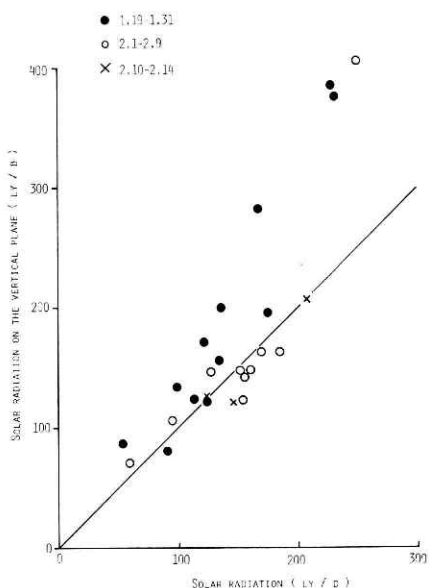


図 4 南向き垂直面日射量と全日射量の比較

Fig. 4 Comparison between ordinary solar radiation and the solar radiation into vertical plane against the south.

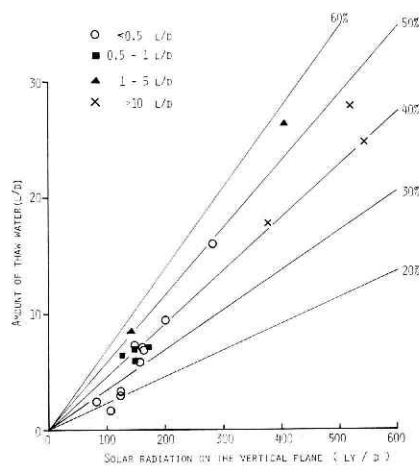


図 5 融雪効率と融雪量

Fig. 5 Melting efficiency and the amount of thaw water.

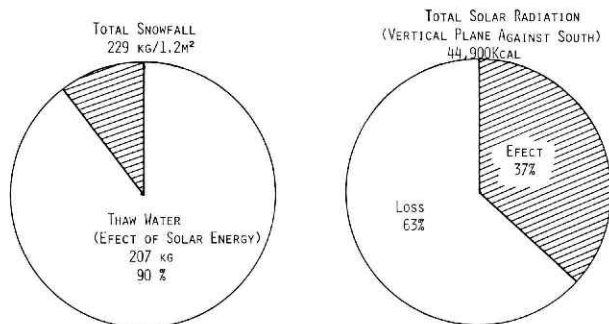


図 6 実験期間中の総合実績

Fig. 6 Total results in the period of experiment.

Mcal/m² のうち、37% が屋根雪の融解に作用したことを示す。左側は実験期間における全降雪の 90% が処理されたことを示す。処理全量は 207 kg/1.2 m² である。

6. 考 察

図 4 に示すように、2 月の実験では曇天の日が多かったが、図 2 に示すように、日積算日射量の月平均値については、1 月と 2 月で大差が認められず、また、図 3 からわかるように、

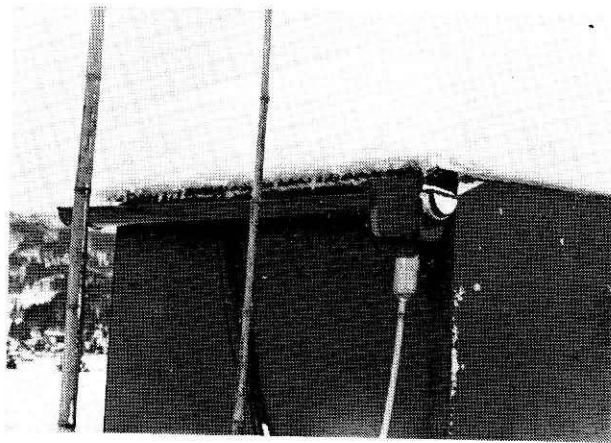


写真 2 融解水の再凍結
Phot. 2 Refreezing of thaw water.

実験期間中の1月と2月それぞれの融出水量合計値にもあまり大きな差が認められない。これらの事実から、曇天でもかなりの融雪が行なわれると考えることができる。

図5において、南向き垂直面日射量が 150 ly/D 以下で集熱・融雪効率が低いのは、実験屋根の軒先部分に融解水が再凍結して氷堤を生じ、融出水量が減少したためと考えられる。その1例を写真2に示す。図6右側に示すように、総合効率が 37% に低下したのは、再凍結分が融出水量に加算されていないためであり、装置の改良によって図5に示した 45% の効率に近づくものと期待される。

7. 結 論

今回の実験では、降雪後半期内の24日間において、融雪水量の合計値が 172.5 kg/m^2 になった。そして、降雪期前半の日積算日射量の平均値が、後半のおよそ半分であったことから、降雪期全体については、少なくとも、 300 kg/m^2 の融雪量が見込めるであろう。この値は最大積雪の深さが 2 m までの地域では、現行の積雪荷重の基準である 420 kg/m^2 でも太陽熱屋根雪処理システムが実用になる可能性を強く示している。しかし、実用性を更に確認するためには、全降雪期を通しての降雪速度と融解速度の変化を比較して、両者の差を補うのに十分な積雪荷重を決定する必要がある。また、太陽熱を利用する屋根雪処理は、日照がなくては成立し得ないので、これの実用化には、都市構造に関連して解決すべき問題もある。また、都市構造をぬきにして建物1つのみを考えても、この建物は全く新形式のものとなるので、たとえば在来の建物との価格差などについて、十分な検討がなされねばならないであろう。

謝 辞

本論文は、科学技術庁研究調整局生活科学技術課防災科学技術担当課長補佐高橋正清氏と著者の一人により 1977 年 9 月下旬になされた、太陽熱利用屋根雪処理の可能性についての意見交換を動機としてまとめた。

また、北海道立寒地建築研究所第 1 研究部長上野 栄氏と、同研究所第 2 研究部中村裕史工学博士には、屋根雪処理用熱源および耐雪建築の基本的な考え方について有益なご意見をいただいた。

なお、本論文の内容は、1977 年 10 月、日本雪氷学会秋季大会において発表し、雪氷学会員諸氏にご討論いただいた。また、日本太陽エネルギー学会理事会は、本論文を選考し、1977 年 12 月の同学会研究発表会での発表を許可した。

以上を記して謝意を表明する。

参 考 文 献

- 1) 木村幸一郎 (1943): 屋上積雪の自然落下について. 雪氷, Vol. 5, No. 7, 6—8.
- 2) 木村幸一郎 (1945): 屋上積雪の積雪状況について. 雪氷, Vol. 7, No. 1, 2—3.
- 3) 木村忠志・清水増治郎 (1969): 屋根雪処理に関する研究 I. 日本積雪連合資料, No. 94, 9—26.
- 4) 木村忠志・清水増治郎 (1970): 屋根雪処理に関する研究 II. 日本積雪連合資料, No. 102, 1—14.
- 5) 木村忠志・清水増治郎 (1971): 屋根雪処理に関する研究 III. 日本積雪連合資料, No. 112, 1—21.
- 6) 木村忠志 (1974): 屋根雪の融雪. 雪氷, Vol. 36, No. 4, 16—21.
- 7) 木村忠志・中村秀臣・東浦将夫・清水増治郎 (1975): 屋根雪消融雪技術の改善に関する研究. 都市の雪害防止に関する総合研究報告書, 昭和 50 年 3 月. 科学技術庁研究調整局, 105—148.
- 8) 木村忠志 (1975): 融消雪施設の現状と問題点. 雪と建設工事, 日本雪氷学会昭和 50 年 2 月テキスト, 47—63.
- 9) 木村忠志 (1977): 都市の防雪施設. 新防雪工学ハンドブック, 日本機械化協会編, 森北出版, 268—275.
- 10) 村井潔三 (1975): 太陽からくるエネルギーの量と強さ. 太陽エネルギー読本第一章, 日本太陽エネルギー学会編, オーム社, 1—35.
- 11) 十日町市 (1973): 屋根雪処理の実態調査. 豪雪, 第 4 集, 防雪都市計画調査及び雪に関する資料, 1973 年, 十日町市.
- 12) 田中俊六 (1977): 太陽熱冷暖房システム. オーム社, 1—275 (38).
- 13) 湯原浩三・北岡豪一 (1973): 消雪通路用地下水資源の開発に関する研究——長岡市の地下水について——. 昭和 47 年度文部省科学研究費補助金による特定研究“水資源”地下水資源の開発とそれに伴う環境変化に関する研究報告 92324, 1—16.

(1977 年 12 月 20 日原稿受理)