

## 新潟における新積雪の密度と電気伝導度

和 泉 薫\*

### Snow density and electric conductivity of daily snowfall observed in Niigata

by

Kaoru IZUMI

(Abstract)

Density measurement and collecting of daily snowfall were carried out at this institute facing the Sea of Japan in Niigata during 1982-83 and 1983-84 winter periods. Collected snow was melted to measure electric conductivity at 18°C ( $\lambda_{18}$ ). The results can be summarized as follows:

1. The mean value of the density ( $\rho$ ) of daily snowfall is 0.133g/cm<sup>3</sup>.
2. For snowfalls more than 5cm,  $\rho$  ranges nearly from 0.07 to 0.15g/cm<sup>3</sup>, and, for snowfalls more than 20cm,  $\rho$  can be presumed about 0.1g/cm<sup>3</sup> (Fig.3).
3. For snowfalls more than 5cm,  $\rho$  is, on the whole, proportional to daily mean wind speed ( $\bar{V}$ ), and relationship between the minimum value of  $\rho$  ( $\rho_{\min}$ ) and  $\bar{V}$  can be expressed by the following formula (Fig.5):  
$$\rho_{\min} = 0.013 \bar{V} + 0.020 .$$
4. The directions of prevailing winds accompanied with snowfall in Niigata are WSW - NNW (monsoon type) and ESE-S (cyclon type) (Fig.6).
5. In general,  $\lambda_{18}$  of monsoon type snowfall (windward-the Sea of Japan) is larger than that of cyclon type snowfall (windward-inland).
6.  $\lambda_{18}$  of monsoon type snowfall increases exponentially with  $\bar{V}$  (Fig.7) and is inversely proportional to amount of snowfall (Fig.8).

### I ま え が き

新積雪の量は、ほとんどの場合その深さ(降雪の深さ)のみが測定されているだけであるが、実用的には、散水融雪施設の設計散水量を定めたり、除排雪重量を算出したりする際などのように、その積雪相当水量の方が必要とされる。現状では、新積雪の深さの測定値から、新積雪の密度を仮定して積雪相当水量を求めている。このように用いられる新積雪の密度を気象要素と関連づけて観測した例は、五十嵐(1976)、中村・阿部(1978)、梶川(1981)のほか数が少ない。その上、季節風の強い海岸部での観測はみあたらない。

また、日本海沿岸では、冬期間の季節風により降雪には海塩が含まれている。この海塩が電力設備に対して種々な形態、例えば、がいし連に下がるつららや、ターミナル締付部の隙間に入り込んで障害を発生させる(大内ほか、1982)。

\* 新潟大学積雪地域災害研究センター

そこで、日本海沿岸部の新潟市において、新積雪の深さと積雪相当水量の同時観測から新積雪の密度を求め、新積雪の含有塩分量と対応する融水の電気伝導度を測定し、それらと気象要素との関連を調べたので報告する。

## II 観 測 方 法

観測は1983年1月から1984年3月までの二冬期間、新潟市の西端に近い新潟大学積雪地域災害研究センター構内(標高23m, 海岸からの直線距離860m)において行った。この期間、1983年2月には新潟市を中心として極めて稀な集中降雪があり(和泉, 1983), また低温多雪の1983-84年冬期は降雪期間が長く継続したため、新潟としては例年になく多種の新積雪のデータを得ることができた。観測は10時を日界とし、前24時間に雪板に積った新積雪を断面積20cm<sup>2</sup>の亚克力製サンプラーで数回採取し、その深さの平均値と重量から新積雪の密度を求めた。また、その融水の電気伝導度を横河電機製ポケット導電率計(SC51)によって測定した。二冬期間には欠測も何日かあった。

気象要素は、新潟地方気象台の3時間毎の観測値(天気, 気温, 風向, 風速)を使用した。災害研と気象台は直線距離で約11km離れているが、降積雪状況はほぼ同じと考えられる(和泉, 1983)。

## III 結 果 と 考 察

### 1. 新積雪の密度

二冬期間の51回の測定で得た新積雪の深さ(降雪の深さ)  $HN$  とその出現頻度を図-1に示す( $HN$ は1cm単位で表わした)。県内山間地の多雪地帯と比べて、海岸部での新積雪の深さは少なく、新潟で大雪と言われたこの二冬期間でもすべてが40cm未満である。最多頻度は0~4cmにあり、全体の約5割を占めている。

新積雪の深さ1cm以上の測定47回について、新積雪の密度  $\rho$  とその出現頻度を示したのが図-2である。これによると  $\rho$  は0.06 g/cm<sup>3</sup>から0.44 g/cm<sup>3</sup>まで広く分布している。高密度の資料は、気温上昇・日射等による融雪や降雨の含有による密度増加のために生じたものである。最多頻度は0.09 g/cm<sup>3</sup>にあり、これは長岡での観測結果(五十嵐, 1976)と同じで、内陸にある新庄での観測結果(中村・阿部, 1978)の0.07g/cm<sup>3</sup>よりは大きくなっている。全体を単純平均した  $\rho$  は0.133 g/cm<sup>3</sup>となった。

次に新積雪の密度  $\rho$  と深さ  $HN$  の関係を図-3に示す。 $HN$  が4cm以下では  $\rho$  の分布範囲は広くバラツキが多いが、5cm以上では、ほとんどが0.07~0.15 g/cm<sup>3</sup> の範囲に入っている。5cm以上の新積雪の  $\rho$  の平均値は0.116 g/cm<sup>3</sup>であった。1点高密度側にははずれた  $\rho = 0.22$  g/cm<sup>3</sup> の資料は、観測当日の朝にみぞれが降り急速に密度増加したものである。さら

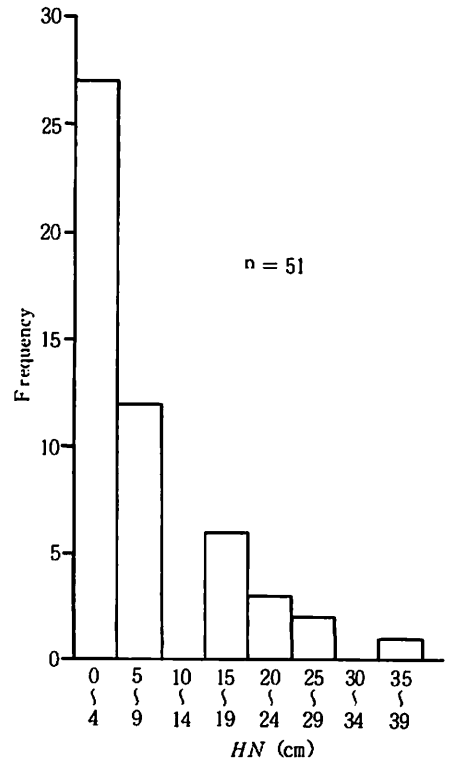


図-1 新積雪の深さ  $HN$  の出現頻度分布  
Fig.1 Frequency distribution of daily snowfall against the snowfall amount ( $HN$ ).

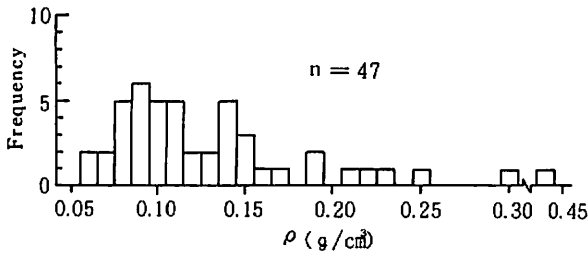


図-2 新積雪の密度  $\rho$  の出現頻度分布  
 Fig.2 Frequency distribution of daily snowfall against snow density ( $\rho$ ).

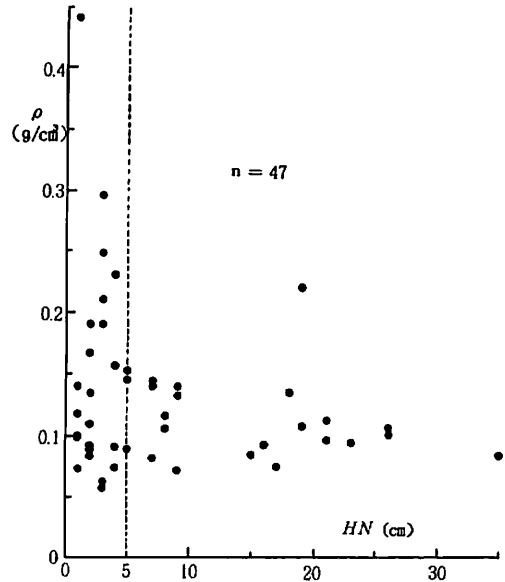


図-3 新積雪の密度  $\rho$  と深さ  $HN$  の関係  
 Fig.3 Relationship between snow density ( $\rho$ ) and snowfall amount ( $HN$ ) of daily snowfall.

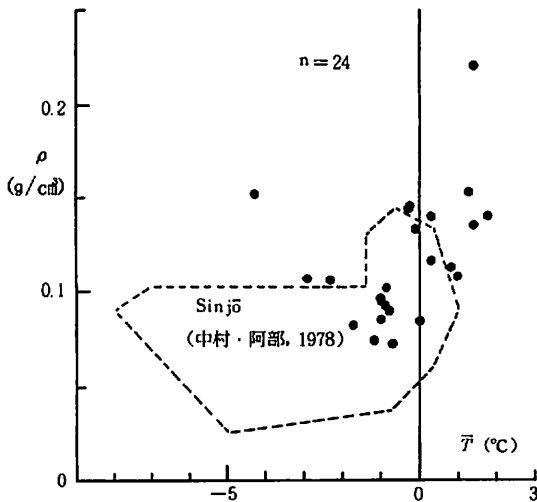


図-4 新積雪の密度  $\rho$  と日平均気温  $\bar{T}$  の関係  
 Fig.4 Relationship between snow density ( $\rho$ ) of daily snowfall more than 5 cm and daily mean temperature ( $\bar{T}$ ).

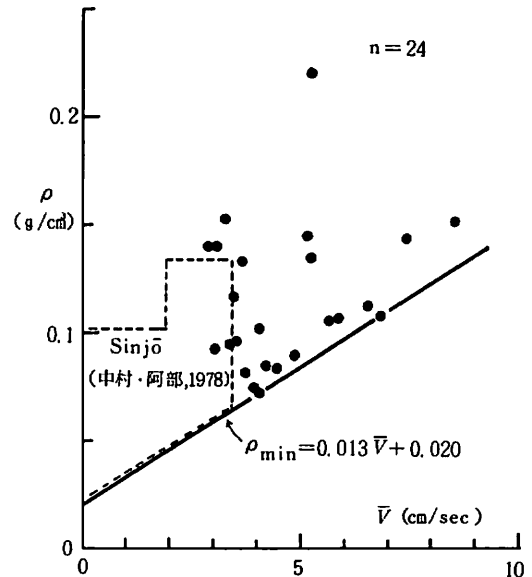


図-5 新積雪の密度  $\rho$  と日平均風速  $\bar{V}$  の関係  
 Fig.5 Relationship between snow density ( $\rho$ ) of daily snowfall more than 5 cm and daily mean wind speed ( $\bar{V}$ ).

に、 $HN$ が20cm以上となると、 $\rho$ は0.1g/cm程度に落着いていることがわかる。多量に降雪があった場合の新積雪の密度 $\rho$ は0.1g/cmを目安としてよいであろう。

次に、新積雪の密度 $\rho$ と気象要素との関連をみる。 $\rho$ の観測は日単位のため、降雪時のみの細かい検討はできず、日平均値の気象要素との対応となる。そこで、ここでは新積雪の深さ $HN$ で5cm以上あった24回の測定のみについて調べてみた。

$\rho$ と日平均気温 $\bar{T}$ （前日12時から当日9時までの3時間ごとに測定した気温の平均値）との関係を図-4に示す。これによるとバラツキは大きいものの $\bar{T}$ が増えるにつれて $\rho$ も大きな値をとるようになることがわかる。これは、 $\bar{T}$ が増えるにつれ圧密の速度が増すこと、気温・日射による融雪や降雨の含有の機会が増えることによると考えられる。図中の点線は、新庄で同様に行った観測結果の範囲を示している（中村・阿部，1978）。 $\bar{T}$ が1℃以下では、今回の観測結果は、新庄の範囲とほぼ一致するものが多い。

次に $\rho$ と日平均風速 $\bar{V}$ （前日12時から当日9時までの3時間毎に測定した風速の平均値）との関係を図-5に示す。図中の点線は、新庄での観測結果の範囲を示している（中村・阿部，1978）。これによると内陸部の新庄より海岸部の新潟の方が新積雪のあった時の風速がはるかに大きいことがわかる。また両者を通じて $\bar{V}$ の増加とともに $\rho$ も増加する傾向が見られる。これはwind packingによるものと考えられるが、気温や日射の影響もあって高密度側ではバラツキている。しかし、ある $\bar{V}$ に対しての $\rho$ の最小値 $\rho_{\min}$ には、この効果がより明らかに現れるはずである。事実、新潟・新庄の両観測結果を通じて、 $\rho_{\min}$ は $\bar{V}$ の増大につれ直線的に増大していることがわかる。この関係を式で近似すると次のように表わされる。

$$\rho_{\min} = 0.013 \bar{V} + 0.020$$

## 2. 新積雪の電気伝導度

採取した新積雪の電気伝導度 $\lambda_t$ を融解後測定し、その時の水温 $t$ から次式によって18℃における電気伝導度 $\lambda_{18}$ を求めた。

$$\lambda_{18} = \frac{\lambda_t}{1 + 0.02(t - 18)}$$

電気伝導度の大小は溶存している電解質の量（溶存イオン量）の大小に対応する。ケイ酸などの解離しない物質を除外すれば $\lambda_{18}$  ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )の0.6倍程度が塩分 ( $\text{mg}/\ell$ )と推定できる（半谷，1960）。

$HN$ が1cm以上の新積雪47資料について $\lambda_{18}$ を調べた結果は、最小が6.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ という純水に近い値から、最大は264 $\mu\text{S}/\text{cm}$ まで大きな変動を示し、単純平均値は75 $\mu\text{S}/\text{cm}$ であった。

ここで、新積雪の $\lambda_{18}$ と気象要素との関連をみることにする。新潟での二冬期間における降雪時の風向頻度分布を図-6に示す。これは、災害研で新積雪を採取した際の前24時間における3時間毎の風向データのうちで、降雪が観測された時だけの風向の頻度をとったものである。これを見ると、降雪時に卓越する風向は大きく分けて二つある。ひとつはWSWからNNW、もうひとつはESEからSにかけてで、ここではそれらをそれぞれNW系、SE系と呼ぶことにする。NW系の風上は日本海側でSE系の風上は内陸側にあたる。そこで $HN$ が1cm以上の新積雪を、降雪時の卓越風向に対応させてNW系 ( $n=22$ )、SE系 ( $n=18$ )、その他 ( $n=7$ )に分類した。NW系の新積雪は西高東低の冬型の気圧配置時にもたらされたもので、SE系の新積雪は冬型の気圧配置がくずれた時や日本付近を低気圧が東進した時にもたらされたものである。これら両系の新積雪の $\lambda_{18}$ の単純平均値は、115 $\mu\text{S}/\text{cm}$  (NW系)、35 $\mu\text{S}/\text{cm}$  (SE系)とNW系が大きく、その際の $\bar{V}$ の平均値も6.1m/sec (NW系)、3.3m/sec (SE

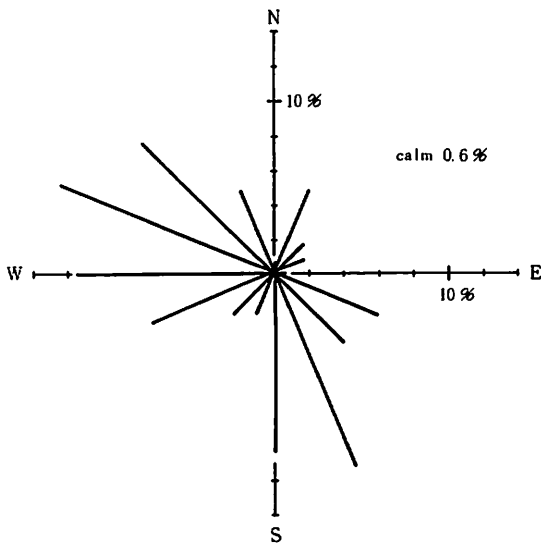


図-6 新潟地方気象台における降雪観測時の風配図  
 Fig.6 Wind rose under snowfall conditions at the Niigata District Meteorological Observatory.

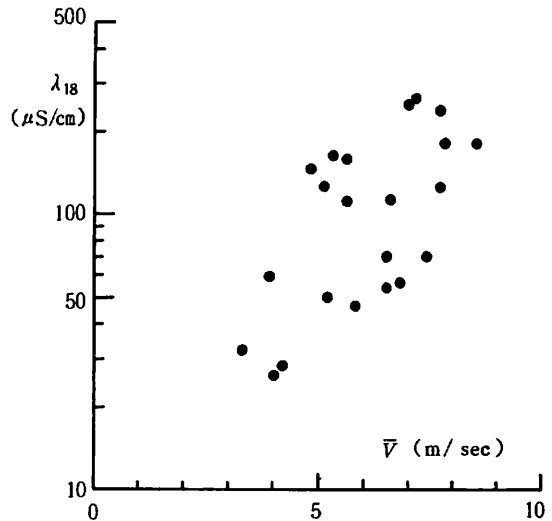


図-7 季節風卓越時の新積雪の電気伝導度と日平均風速  $\bar{V}$  との関係  
 Fig.7 Relationship between electric conductivity at 18°C ( $\lambda_{18}$ ) of daily snowfall and daily wind speed ( $\bar{V}$ ) under north-westerly wind conditions.

系)とNW系の方が大きい。また、 $\lambda_{18}$ の最大値(264 $\mu$ S/cm)は典型的な冬型気圧配置におけるNW系の、最小値(6.5 $\mu$ S/cm)は本州南岸沖を低気圧が通過した時におけるSE系の新積雪で測定された。そこで、高電気伝導度が測定されるNW系の新積雪について次に詳しく調べてみた。なおNW系の新積雪の化学成分は、風向から言ってほとんどが海水起源のもの、すなわち海塩粒子と考えられる(数資料のNaとClの化学分析を行った結果、それらの濃度比は、海水のそれとほぼ一致した)。

図-7にNW系の新積雪の $\lambda_{18}$ と $\bar{V}$ の関係を示した。これによるとバラツキはあるものの、 $\bar{V}$ が増すにつれて $\lambda_{18}$ は指数関数的に増大している。すなわち冬型の気圧配置が強まり季節風の吹き出しが強くなるにつれて $\lambda_{18}$ が増大する。強風の際 $\lambda_{18}$ が増大するのは、海洋における海塩粒子の生成が活発になるため、降雪のrain-out・wash-out及びdry fall-outによって新積雪に含まれる海塩粒子が増大することによって考えられる。TSUNOGAI *et al* (1972)は洋上大気中の海塩量を測定して次式を得た。

$$S = 0.33e^{0.62V}$$

ここでSは大気中の塩分濃度( $\mu$ g/ $m^3$ )、Vは風速(m/sec)である。この式は風速とともに指数関数的に海塩粒子の生成が増大することを示している。この風速の効果により、 $\bar{V}$ の増大につれて、新積雪の $\lambda_{18}$ が指数関数的に増大することが説明される。

次に、新積雪の深さHNと $\lambda_{18}$ の関係を示したのが図-8である。これによれば、HNが増えるにつれて $\lambda_{18}$ は指数関数的に減少することがわかる。これはHNのかわりに新積雪の積雪水量をとっても同じ傾向を示す。すなわち、新積雪が増えるにつれ、単位水量当たりに含まれる海塩粒子の量が減少することを示している。

また、 $HN$ と $\bar{V}$ の関係をみたのが図-9である。これによればバラツキがあるが全体的には、 $\bar{V}$ が増大するにつれて $HN$ は減少している。これは同じNW系の季節風に伴う新積雪であっても、気圧配置によって降雪パターンに特徴があることに関連している。新潟のような海岸部では、等圧線が南北に走る典型的な西高東低の冬型の気圧配置の際には、季節風は強いが降雪は少ない（山雪型）。一方、冬型の気圧配置であるが大陸の高気圧が日本の南海上に張り出し等圧線が袋型または乙字型を示す気圧配置の際には、季節風は弱いが降雪は多くなる（里雪型）。これらの反映が図-9の傾向に現れている。

以上をまとめると、海岸部にある新潟のNW系の季節風に伴う新積雪は、季節風が強い場合（山雪型） $HN$ は少ないが $\lambda_{18}$ は大きく、季節風が弱い場合（里雪型） $HN$ は多いが $\lambda_{18}$ は小さいことがわかる。すなわち塩分濃度の高い新積雪は、冬型の気圧配置のうち山雪型の降雪パターンの際に出現する。

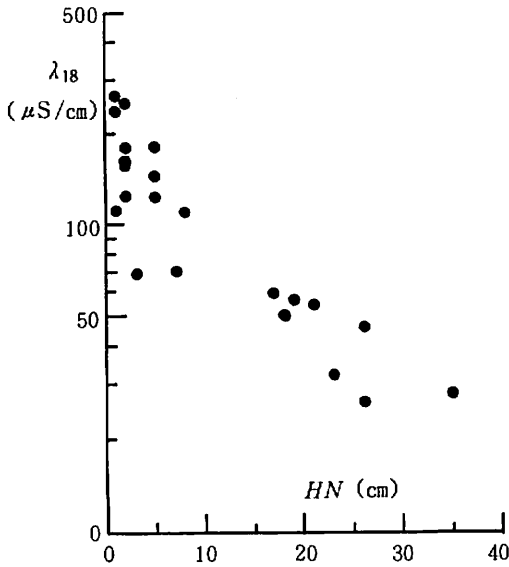


図-8 季節風卓越時の新積雪の電気伝導度 $\lambda_{18}$ と新積雪の深さ $HN$ の関係

Fig.8 Relationship between electric conductivity at 18°C ( $\lambda_{18}$ ) and snowfall amount ( $HN$ ) of daily snowfall under north-westerly wind conditions.

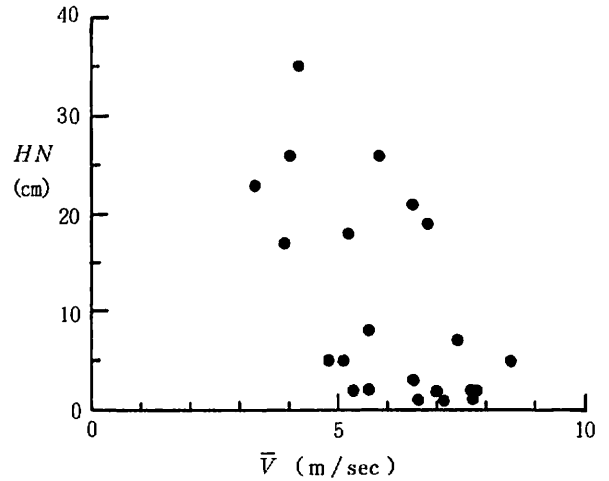


図-9 季節風卓越時の新積雪の深さ $HN$ と日平均風速 $\bar{V}$ の関係

Fig.9 Relationship between amount of daily snowfall ( $HN$ ) and daily mean wind speed ( $\bar{V}$ ) under north-westerly wind conditions.

#### IV ま と め

1983年1月から1984年3月までの二冬期間、新潟大学災害研構内で新積雪の密度 $\rho$ 及びその融水の電気伝導度 $\lambda_{18}$ を測定し次の結果を得た。

1.  $\rho$ の最多頻度値は $0.09 \text{ g/cm}^3$ で、単純平均値は $0.133 \text{ g/cm}^3$ であった。
2. 新積雪の深さ $HN$ が $5 \text{ cm}$ 以上の場合、 $\rho$ はほぼ $0.07 \sim 0.15 \text{ g/cm}^3$ の範囲に入り、 $20 \text{ cm}$ 以上になると $0.1 \text{ g/cm}^3$ 程度であった。
3.  $\rho$ は日平均風速 $\bar{V}$ の増大とともに増加し、 $\rho$ の最小値 $\rho_{\min} (\text{g/cm}^3)$ と $\bar{V} (\text{m/sec})$ の間に次式の関係が認められた。

$$\rho_{\min} = 0.013 \bar{V} + 0.020$$

4. 新潟における降雪時の風向は、WSW～NNW（NW系，風上－日本海）とESE～S（SE系，風上－内陸）の二つが卓越している。
5. 新積雪の融水の電気伝導度  $\lambda_{18}$  は，NW系風向時の新積雪の方がSE系より全体的に大きい。
6. NW系風向時の新積雪については，季節風の風速の増大につれて  $\lambda_{18}$  が指数関数的に増大し塩分含有量が多くなる。

最後に，本報をまとめるに当り，常に御指導いただいている新潟大災害研，中俣三郎教授に心から御礼を申し上げます。また，化学分析に便宜を図っていただいた新潟大学災害研，佐藤修助教授に感謝いたします。

#### 参 考 文 献

- 半谷高久（1960）：水質調査法，丸善，東京。
- 五十嵐高志（1976）：長岡における12冬期間の積雪観測について，昭和51年度日本雪氷学会秋季大会予稿集，124。
- 和泉 薫（1983）：1983年2月の大雪による新潟市の雪害，新潟大災害研年報，5，97－108。
- 梶川正弘・近 圭子（1981）：新積雪の密度と雪結晶の形および気象要素との関係，昭和56年度日本雪氷学会秋季大会予稿集，204。
- 中村秀臣・阿部 修（1983）：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，19，243－250。
- 大内 衛・藤掛和男・登坂 滋（1982）：米代川地域の積雪含塩量の調査（第1報），昭和57年度日本雪氷学会秋季大会予稿集，267。
- Tsunogai, S., Saito, O., Yamada, K. and Nakaya, S. (1972): Chemical composition of oceanic aerosol, *J. Geophys. Res.*, 77, 5283－5292.