

新潟平野における積雪の特性

(1980~'81年冬期)

和泉 薫*

Regional characteristics of the snow cover in the Niigata plain

by

Kaoru IZUMI

(Abstract)

In February, 1981, regional characteristics of the snow cover were investigated in the Niigata plain, Niigata prefecture on the basis of observations made at 35 points of the type of snow, snow depth, snow cover water equivalent and Ram hardness. Sites of observations are shown by solid circles in Fig.1. Snow depth, snow water equivalent and hardness of the whole snow layers seem to be the fundamental values to distinguish the general characters of the regional snow cover.

The obtained results were as follows:

The snow cover mainly consisted of wet granular snow layers because of mean air temperature above 0°C in mid-winter.

Snow depth(HS) against snow cover water equivalent(HW) is shown in Fig.2 with lines indicating mean density($\bar{G} = HW/HS$). Mean density ranged between 0.3~0.45(g/cm³) which is high in comparison with that of the dry snow cover.

Relations between total Ram Hardness(ΣR) and HS, HW were expressed by the following equations,

$$\log HS = 0.843 + 0.408 \log \Sigma R.$$

$$\log HW = 0.441 + 0.401 \log \Sigma R.$$

Relation between mean Ram hardness $\bar{R} (\Sigma R / HS)$ and HS is shown in Fig.4. Between \bar{R} and HS there is similar relation, though the changing point of slope is about 80g/cm² in HW.

The index RH which multiplied ΣR by HW ($RH = \Sigma R \cdot HW$) represents snow character concerned with the weight and hardness of the snow cover. Relation between $\log RH$ and HS was expressed by the following equation,

$$\log HS = 1.58 + 0.290 \log (\Sigma R \cdot HW).$$

Fig.6 shows the snow cover water equivalent over the Niigata plain in February, 1981, which obtained by observations at 32 points (solid circles). From Fig.6, the average snow cover water equivalent and total amount of snow cover over that area which demarcation is shown by dashed line were calculated 23.6g/cm² (236mm) and 3.9×10^8 ton respectively.

*新潟大学積雪地域災害研究センター

いまえがき

新潟県のように冬期気温が比較的高い地域では、新雪からすぐにざらめ雪に変わる温暖変態が卓越している。また、しまり雪を形成する多量の降雪があっても、それらの中断期には暖気が入り温暖変態によりざらめ雪が形成され、ざらめ雪としまり層が互層をなすことが多い。こうしたざらめ化は積雪の力学的強度を劣化させるため、なだれ発生の危険とつながる場合がある。またその他の積雪によってもたらされる災害も、積雪のこうした性質に大きく依存しているものが多い。そのため、積雪災害の研究、対策には、積雪の諸性質を広域的に調査しその特性を把握することが必要とされる。

北海道においては、秋田谷・遠藤（1977, 1979ほか）が6冬期に亘って広域積雪調査を行い、北海道内の平地積雪の特性を調べ多くの成果を得ているが、新潟県においては、魚野川流域での継続調査（YAMADA, Y. and IKARASHI, T., 1980ほか）以外に、観測例がほとんど見あたらない。

そこで、新潟県内の積雪の特性及びその地域分布・変化過程を明らかにする端緒として、1980～81年冬期、新潟平野を主体として積雪調査を行い、積雪の質的・量的特性を観測したのでその結果を報告する。

II 調査地域と調査方法

調査地点は35箇所、主体は新潟平野であるが、西山丘陵地、柏崎平野、魚沼地方の山間部も一部入っている。その位置を図-1に示した。調査地点は、道路や周りの建物・樹木等の影響を受けない平坦な所（例えば学校のグラウンド）を選び、その地点付近の積雪状態を代表できるようにした。

調査は一般の積雪断面観測のような細かい測定を行わず、積雪全体としての大まかな性質を把握するため、基本的なものとして雪質、積雪深、積雪水量（積雪相当水量）、ラムゾンデによるラム硬度を測定した。

調査時期は2月とした。1981年2月の積雪状態を長岡市を例として図-2に示す。図中の積雪水量と×印の積雪深は新潟大学旧工学部構内での観測値で、毎日の降・積雪深は北陸地建長岡国道工事事務所での値である。これによると2月は、短期間の多量の降雪や急激な融雪もなく、積雪深、積雪水量ともほぼ安定していることがわかる。このことから、調査日時は2月の内でも地点によりずれがあるが、積雪のごく少ない地域を除くと、あとは2月の代表値として地点間の対応はつけられよう。また、山間部では融雪が平野部より遅れることや、図-2から平野部でも3月初旬は2月中と積雪状況が大差ないことから、3月初旬の山間部での調査も1箇所含めることにした。

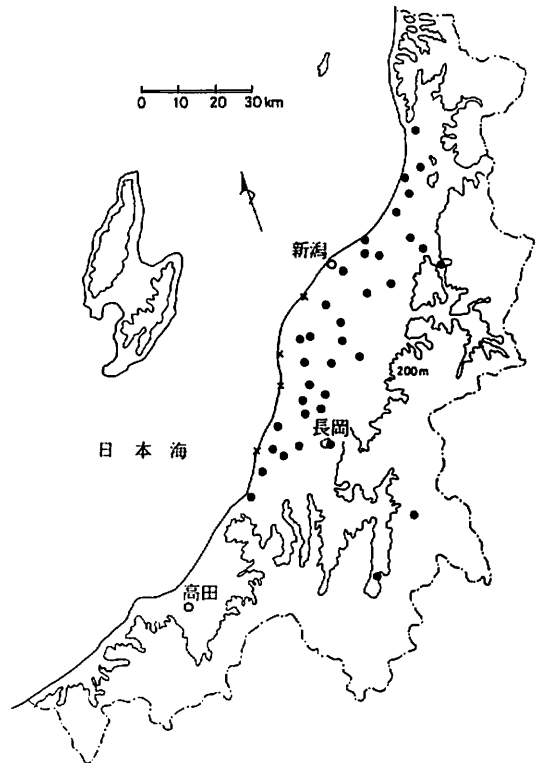


図-1 調査位置図

Fig.1 Locations of observation sites in Niigata prefecture.

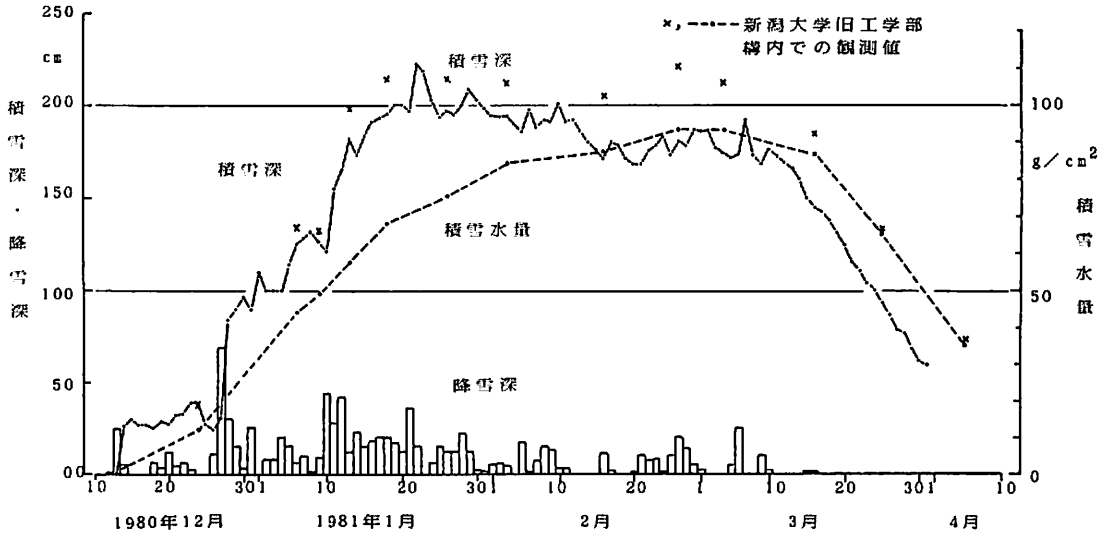


図-2 長岡市における降・積雪深及び積雪水量の変化(1980-81年)
 (毎日の降・積雪深は北陸地建長岡国道工事事務所の値)

Fig.1 Time variation of snow fall(□), snow depth(—x) and snow water equivalent (----) in Nagaoka city (1980-81).

Ⅲ 調査結果

1. 雪質

新潟県の冬期気温は前述のように比較的高い。新潟、長岡の1、2月の月平均気温の平均値は1~2°Cの間にある。1981年の1、2月における月平均気温も、新潟平野全域で0~2°Cの範囲にあった。このように温暖変態が卓越する条件下にあったため、積雪層の雪質はその多くがざらめ雪で、しかも水分を含む場合が多かった。他の雪質としては、新雪、こしまり雪、しまり雪が認められた。

一例として写真-1に、1981年2月7日の新発田市(新発田高校グラウンド)における積雪断面を示す。白く見える所がしまり雪で、31~27.5 cmの高さに一層、19~12 cm及び47~36 cmの高さに部分的に見られるにすぎない。残りはざらめ雪で、斑点状に見える層は雪粒の粒子が大きい。75~71 cmの高さにある白い表面層は、新雪が急速に温暖変態してできたざらめ雪層である。また所々層境界が黒っぽくなっている所に氷板が形成されている。このように、この冬の2月の新潟平野の積雪は大半がざらめ雪で形成されていた。ただし、積雪が多くなる山間部にかけては、しまり雪の割合が多くなっていた。

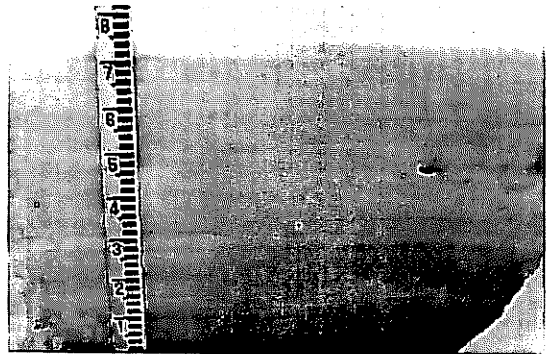


写真-1 新発田市における積雪断面(1981年2月7日)
 Photo.1 Vertical profile of snow cover in Shibata city (Feb.7, 1981)

2. 積雪の平均密度

積雪の重さ(積雪水量)は、家屋の屋根荷重を考える際に重要なように、積雪災害とも深く関わっている。しかし普通の官公庁における積雪に関する測定としては、積雪深が一般的で積雪水量まで測っている

所はごくわずかに限定される。そこで、もし積雪深のほか平均密度がわかっておれば、積雪水量を計算で求めることができる。そういった意味もあって図-3に調査した地点の積雪深(HS)と積雪水量(HW)の関係を示した。図中の3本の実線は平均密度(\bar{G})が0.3, 0.4, 0.5 g/cm³を示す線である。これによると大半の調査地点の平均密度は0.3~0.5 g/cm³の範囲に入り、0.4 g/cm³程度のものが多いことがわかる。このように密度範囲が揃ったのは、調査時期を2月に限り、かつ同じ平野の積雪という似た積雪環境での測定によるため、値が大きかったのは温暖変態が十分に進展していたためと考えられる。図-3の積雪深、積雪水量とも値の大きい山間部の積雪は、ざらめ化が進んでいないため平均密度も0.4 g/cm³より小さい値になっている。

3. 積雪の硬度

積雪の硬度の測定には、前述のようにラムゾンデを用いた。ラムゾンデの錘りを一定の高さからn回落下して貫入させた深さ ΔH (cm)の雪層のラム硬度は、次式により計算される。

$$R = \{ (m + M) + m \cdot h \cdot n / \Delta H \} \text{ (kg)}$$

ここで、 m :錘りの重さ(kg)、 M :ゾンデの重さ(kg)、 h :錘りの落下高さ(cm)、 ΔH :ゾンデの沈下深さ(cm)。

このラム硬度に ΔH を掛け全積雪層に亘って積算したものを積算ラム硬度 ΣR と呼び、この積算ラム硬度を積雪深HSで割ったものを平均ラム硬度 \bar{R} と呼ぶ(秋田谷ほか, 1979)。これらの関係は次式のようになる。

$$\Sigma R = \Sigma R_i \Delta H_i$$

$$\bar{R} = \Sigma R / \Sigma \Delta H_i = \Sigma R / HS$$

ΣR は積雪全体の硬さを表わし、同じ硬さの雪でも積雪深が2倍になれば ΣR は2倍になる。 \bar{R} は積雪層の平均硬度を表わしている。 R を深さ ΔH の雪層の密度とすれば、 ΣR は積雪水量に、 \bar{R} は全層平均密度に相当する。

図-4に積雪水量(HW)と積算ラム硬度(ΣR)の関係を示した。積雪が少ない場合には、降雪が堆積してから時間が短く、水を含んで温暖変態が進んでいるため、雪粒子間の結合が不十分で全層の硬度は非常に小さかった。このため積雪がラムゾンデ本体を支持できず硬度を数値で出せなかったが、 ΣR の範囲(→)または上限(←)は得られたので、それらもあわせて図中に記した。数値の得られたものだけでこの関係を式で表わすと次のようになる。

$$\log HW = 0.441 + 0.401 \log \Sigma R \quad (\text{相関係数 } r = 0.969)$$

また、図-3に示したように平均密度が比較的揃っているため積雪深(HS)と積算ラム硬度(ΣR)

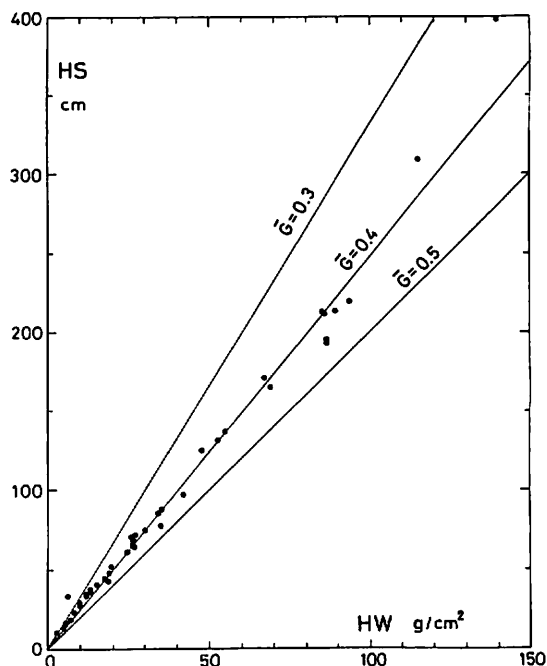


図-3 積雪深と積雪水量の関係
Fig.3 Relation between snow depth (HS) and snow water equivalent (HW).

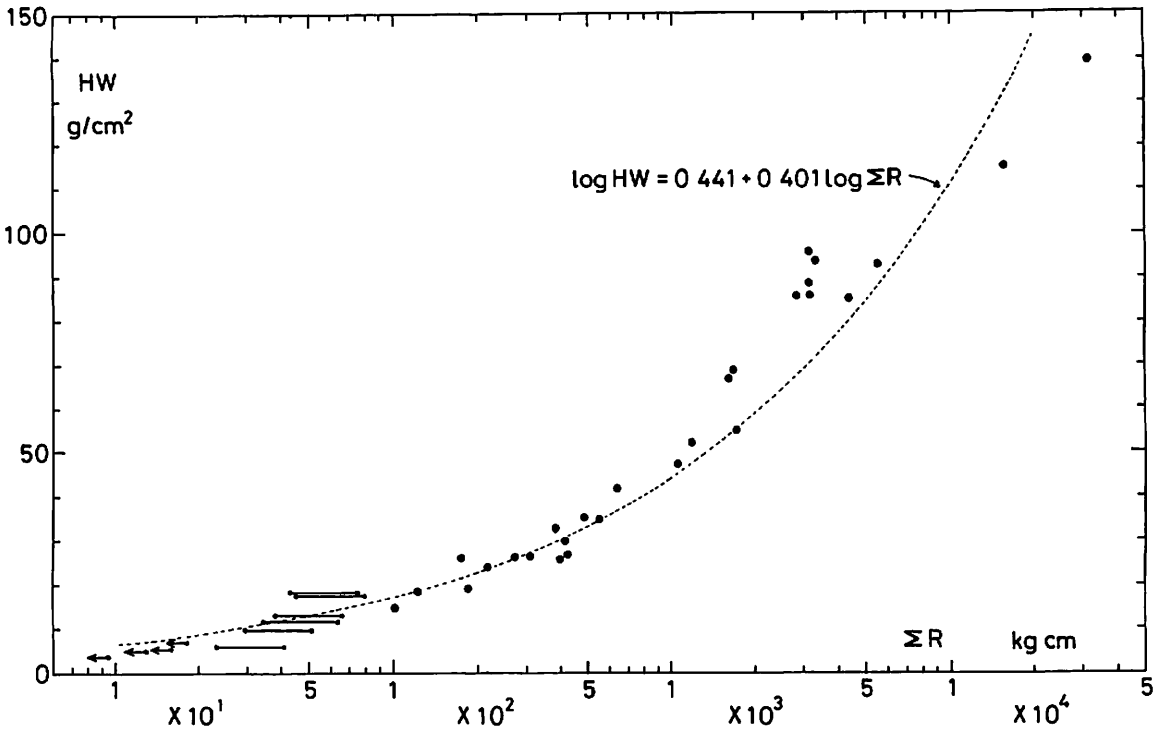


図-4 積雪水量と積雪ラム硬度の関係

(← , ← : ΣRがその範囲内かそれ以下としか求まらないことを示す)

Fig.4 Relation between snow water equivalent (HW) and total Ram hardness (ΣR)

にも同様の関係

$$\log HS = 0.843 + 0.408 \log \bar{R}$$

(相関係数 $r = 0.985$)

が得られた。

これらから積雪深か積雪水量のいずれかがわかれば、積雪全体の硬さ ΣR が求められることになるが、さらに調査を行い確かなものとしたい。

次に積雪深 (HS) と平均ラム硬度 (\bar{R}) の関係を図-5 に示した。これによると、HS が 200 cm 程度までは HS と R は一本の直線関係を表わしている。HS が 200 cm 程度を超えるとそれと別の直線関係を取り、HS に対する \bar{R} の増大の割合が大きくなっている。いずれにしても、HS が増えるにつれ積雪層の平均硬度が増すことがわかる。これは積雪が多いということ、根雪になってからの期間が長いことや積雪荷重が大きいこととが対応し、雪粒子同志の結合を発達させるためと考えられる。HS が 200 cm 程度で \bar{R} の増え方が違うのは、HS が 200 cm 以下では積雪中にざらめ雪が 7 割以

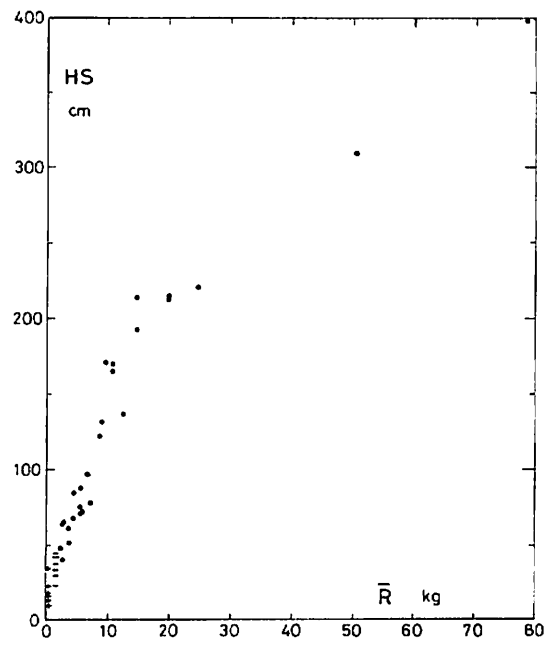


図-5 積雪深と平均ラム硬度の関係

(← , ← : \bar{R} がその範囲かそれ以下としか求まらないことを示す)

Fig.5 Relation between snow depth (HS) and mean Ram hardness (\bar{R}).

上を占め温暖変態が卓越していたのに対し、それ以上のHSではしまり雪の割合が増え、かつ下層のしまり雪は硬度の大きいかたしまり雪になっていたように寒冷変態が卓越していたことによると考えられる。

積雪深の替りに積雪水量(HW)と平均ラム硬度の関係进行调查すると、図-4のところで述べたと同じ理由から図-5と似た関係が得られる。この場合直線の折れ曲りにあたる積雪水量は約80 g/cm²である。

以上では、積雪の特性を示す基本的な量、深さ、硬さ、重さのうちの二つの関係を見てきた。そこで今度はこの三つの量を平面上に表わすため、積算ラム硬度(ΣR)と積雪水量(HW)の積(ΣR・HW)をとり、その対数(log(ΣR・HW))をRHナンバーとした。このRHナンバーは直接現実と結びつく量ではないが、積雪全体の硬さと重さの積であるから、除雪、排雪など堆雪状態の雪処理の難易程度を表わすのに便利な指標と考えられる(秋田谷ほか、1977)。

図-6に積雪深(HS)とRHナンバー(log(ΣR・HW))の関係を示す。この関係は次式のように表わされる。

$$\log HS = 1.58 + 0.290 \log (\Sigma R \cdot HW) \quad (\text{相関係数 } r = 0.994)$$

積雪深が74cmでRHナンバーは1であるが、積雪深がほぼ2倍の145cmになるとRHナンバーは2となってΣR・HWの値は10倍となる。ところが同じ硬さ、重さの積雪を重ね積雪深を2倍にただけだとΣR・HWは4倍にしかならない。このことから、積雪深が多くなると雪処理の困難さの度合は急増し、それに要するエネルギーも急激に多くなることがわかる。

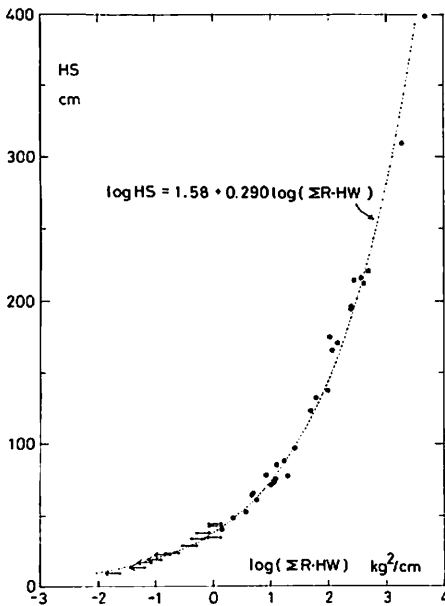


図-6 積雪深とRHナンバーの関係 (●, ← : log(ΣR・HW)がその範囲内かそれ以下としか求まらないことを示す)

Fig.6 Relation between snow depth (HS) and RH number (log(ΣR・HW)).

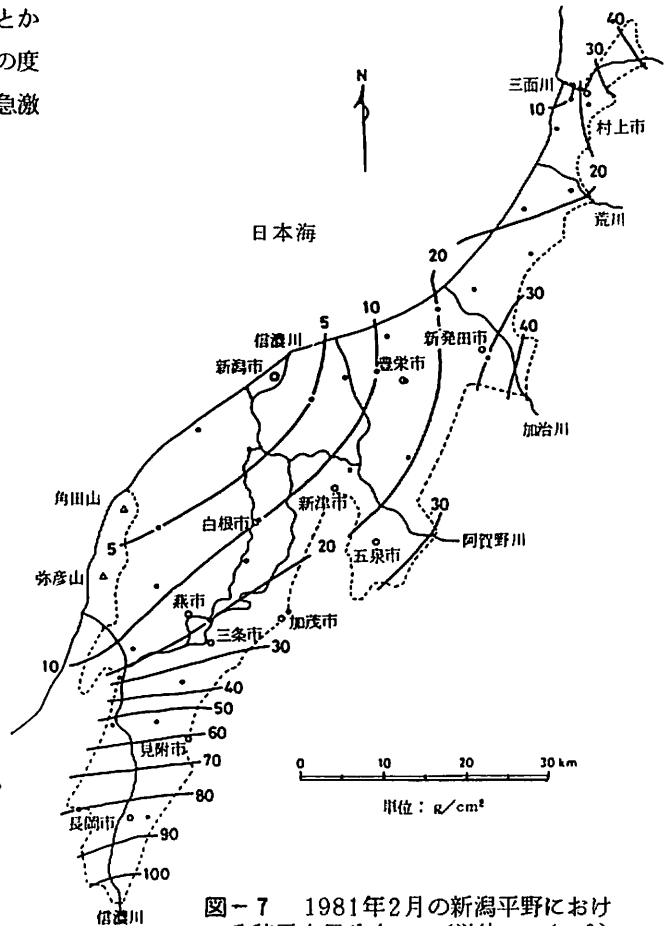


図-7 1981年2月の新潟平野における積雪水量分布 (単位: g/cm²)
Fig.7 Snow water equivalent (g/cm²) in the Niigata plain in February, 1981.

4. 新潟平野の積雪水量

積雪深の分布は気象官署や関係機関において作成されることが多いが、積雪水量の分布や総積雪水量については、水力発電に関連して山岳地帯で行われたスノーサーベアー（例えば石原健二ほか、1955）以外ほとんど例を見ない。

そこで今回の積雪調査のうち主として行った新潟平野について、積雪水量分布等を調べてみた。調査は2月上旬から下旬までに亘ったが、前述のように、積雪のごく少ない所以以外の2月中の積雪変動は少なく、調査結果はこの冬の2月の代表値とみなすことができる。

図-7に新潟平野の1981年2月の積雪水量分布を示す。平野の範囲は海岸線と点線で囲まれた内とし、その面積は1,650km²（新潟県の面積の約13%）である。平野の端の調査地点のない所の値は付近の積雪深の資料を使って外挿した。これによると分布は三条市付近を境にして南北二つに分けて考えられる。北側は海岸から内陸に入るにしたがって積雪水量が徐々に増加する傾向にある。ただ、新発田市、村上市付近は後背する飯豊山塊、朝日山塊の影響から積雪水量が多くなっている。これに対して南側は、信濃川の下流から上流にかけて積雪水量は急激に増大し、1km当たり約2.7g/cm²の増加率を示している。これら現象と北陸地方の降雪機構との対応は興味ある問題であろう。

ところで、図-7から計算すると新潟平野の1981年2月の平均積雪水量は23.6g/cm²と求められた。これは平均密度を0.4g/cm³とすれば、積雪深で約60cmに当たる。また、平野の総積雪水量は3億9千万tonにも及ぶことがわかった。これは只見川水系の田子倉ダムの有効貯水量3億7千万tonに匹敵する。この貴重な水資源が重力ポテンシャルの低さのため、ほとんど利用されないまま自然融雪し日本海へ流出しているのが現状である。

そこで、これら積雪を集中して貯雪し、融雪すなわち固体から液体への相変化を調節・制御することができれば、長期に亘って定常的に水を供給することが可能なので、不足する地下水の涵養等に有効である。日本の年平均降水量は約1,800mmと世界平均の2倍も降り水に恵まれているように見えるが、国民一人当たりによると約6,000ton/年と世界平均の約2割にしかならない。しかも多雪地帯においても上越地域のように水資源の不足に悩まされている地域もある。そこで将来的には水資源の有効利用として、貯雪、融雪制御により水循環を一時的に調整し、不足する水源に充当することも考えられるのではなかろうか。

また同時に、雪は冷熱源としても有効であろう。氷1g当たりの融解熱が80calなので、新潟平野の3億9千万tonの雪をすべて融かしてしまうには、平均含水率10%として28兆kcalもの熱量が必要となる。この融解を電気で行うとすると330億kwh必要であり、これは只見川水系奥只見ダムの年間発生電力量の約50倍にもあたる。この雪に賦存する莫大な冷熱を活用すれば、冷房、発電、食品の低温貯蔵など恩典は大きい。すでに一部で実用化を目指した研究（梅村ほか、1979）も始まっているので、経済的バランスがとれる社会状況下ではその実現も期待できよう。

Ⅳ ま と め

1981年2月に新潟平野を主体として35箇所の積雪調査を行い、積雪の質的・量的特性を検討した。調査の結果明らかになったことは次のとおりである。

1. 新潟平野の積雪の雪質はざらめ雪が主であり、しかもぬれ雪が多かった。
2. このため平均密度は0.4g/cm³前後と大きい値のものが多かった。
3. 積雪深（HS）及び積雪水量（HW）と積算ラム硬度の間には次の関係が見出された。

$$\log HS = 0.843 + 0.408 \log \Sigma R$$

$$\log HW = 0.441 + 0.401 \log \Sigma R$$

4. 積雪深（積雪水量）と平均ラム硬度は、積雪深が 200 cm（積雪水量で 80 g/cm²）程度で勾配の変わる直線関係をなすことがわかった。

5. 積雪深と RH ナンバー（ $\log(\Sigma R \cdot HW)$ ）の間に次の関係が見出された。

$$\log HS = 1.58 + 0.290 \log(\Sigma R \cdot HW)$$

6. 1981 年 2 月の新潟平野（面積 1,650 km² の範囲）の平均積雪水量は 23.6 g/cm²（236 mm），総積雪水量は 3 億 9 千万 ton と計算された。

謝 辞

本報をまとめるにあたり、常に御指導をいただいている災害研、中俣三郎教授、現地調査に協力していただいた災害研、高浜信行助手に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 秋田谷英次・遠藤八十一（1977）：石狩・空知地方の積雪調査，低温科学，物理編，**35**，105-115。
秋田谷英次・遠藤八十一（1979）：北海道の平地積雪の特性（1977～79 年冬期），低温科学，物理編，**38**，33-40。
石原健二・福井 篤（1955）：日本に於ける積雪調査事例，雪氷の研究，**2**，日本雪氷協会，203-236。
梅村兎由・服部一郎・後藤 巖・手島立男・服部 賢（1979）：積雪を冷熱源としたエネルギー有効利用の研究 I，都市の集雪冷房システムの提案と評価，長岡技術科学大学研究報告，**1**，158-162。
YAMADA, Y. and IKARASHI, T. (1980) : Study on the Snow Cover Stratigraphy in the Uono Basin, Report of the National Research Center for Disaster Prevention, **23**, 215-229.