

融雪期の積雪相当水量とその特性

Water Equivalent of Snow and its Characteristics

during the Snowmelt Period

専修大学北海道短期大学 正 員 山 梨 光 訓

1. はじめに

積雪は降水の一形態として、有用かつ重要な水文要素である。とくに、積雪地域では、春先の融雪水は貴重な用水源であり、また、積雪そのものも排除（排水）対象として重要な課題となる。すなわち、利水上、農耕期間前期の大きな給水源となり、年間を通じても上工水供給などに占める割合は大きい。ただし、急激な融雪は、農地災害をはじめ、都市部に及ぶ融雪出水被害を起こすので注意を要する。従来、水資源開発、電源開発に向けて、山地流域河川を中心とする融雪流出の調査研究は種々行われてきた。さらに、現今では、農地の基盤整備、汎用化が進み、住環境も都市化するなどの環境変化も大きく、これらによる流出場の多様化が雨水流出機構に与える影響についての研究が多くなされてきているが、融雪流出をも考慮した山地側での利水対策、平地側での排水対策を考える必要がある。ここに、山地開発、治水計画、および、農地、都市計画をも含めての総合的な融雪流出機構に関して考究していこうとするものである。

融雪に関する研究には、Wilson, Lightら、あるいは、Linsleyによるものなどがある。わが国でも経済、農業、林業、道路鉄道交通、土木施工、建築、エネルギーその他の方面で雪に関する調査研究は古くから行われてきている。融雪流出に関しては、境隆雄氏、佐藤晃三氏、菅原正己氏、山口甲氏、藤田睦博氏、小林大二氏、丸安隆和氏らの研究もある。これらの研究では、積雪量が基礎資料として準備される必要があり、それには積雪量調査を行なわなければならない。しかし、積雪量の実測は非常に困難な仕事である。そこで、積雪量の直接的算出基礎、あるいは、融雪水の流出経路を知るために現地積雪観測を行った。このような実測資料を解析し、低温科学研究における融雪物理とを融合させることによって、融雪の機構、さらには、その流出機構を、実際に解析を進める上で、合理的、実証的なものにすることができよう。したがって、この観測の他にも広く各地の継続的積雪観測資料の集積が望まれる。また、研究手法として、現地におけるミクロな現象解析と、流出場をブラックボックスにとるマクロなモデル流出論とを想定した場合、融雪流出過程において、積雪相当水量を検討することは、いわば、ミクロな立場であるが、融雪流出現象を物理的な意味をもって把えるためには不可欠な要件であると考えられる。

2. 積雪の観測法

融雪流出現象を把えるためには、①. 融雪水の捕捉をする ②. 積雪の状況を追跡する ③. 広域的な積雪分布を知るなどの必要がある。これらの実測例は、①については、佐藤氏がライシメータ式融雪計を用いて融雪流出量を測定し、融雪流出の気象要素との関係を検討している。②については、札幌の平地積雪断面測定資料報告がある。¹⁾農林水産技術会議（1961）が行った積雪の形式的な状況の記録をした積雪調査とは異り、継続的に積雪の物性に関する資料を収録している。1963年から1964年の冬季以来、連続して現在まで、積雪層状態の観察、温度測定、密度測定、硬度測定、含水率測定、雪の組織の観察、積雪深の測定などを行っているものである。③は山地流域などを踏査した結果が発表されている。スノーサンプラーなどで積雪量調査を行うものであるが、定期的な実測は困難である。

ここでは、積雪断面の密度分布が時間的にどのような変化を示すか。積雪全期間を通して、積雪の定性、あるいは定量的な予測が成り立つか。さらに、密度変化は融雪流出現象、流出機構にどのような役割をもつか。とくに、融雪期における密度の変化はどうか。細かな変動状況を考究するものである。密度の状況が記述できれば、積雪相当水量はもちろん、融雪水量、面的な積雪水量の把握も容易に算定できることになる。

そこで、密度の測定、温度測定、積雪深の測定を基幹とする現場観測を行った。密度測定にはサンプリングを行い、その際、採取容器には、試料の物理的性状に影響が少ないように、できるだけ大容量で、しかし、適度な積雪内部構造解析をも可能とする範囲ということで、直径10 cm、高さ20 cmのアルミ製、あるいは、ステンレス製試料円筒を使用した。直接的に積雪相当水量を求めるときには、スノーサンプラーのように立てて用い、密度分布測定には、横にして、結局、上下間隔10 cmの層の平均密度を求めたことになる。また、採雪、温度測定にあたっては、積雪高さ方向に5~10 cm間隔で行った。観測は1977年1月から開始して、1982年も継続中である。²⁾

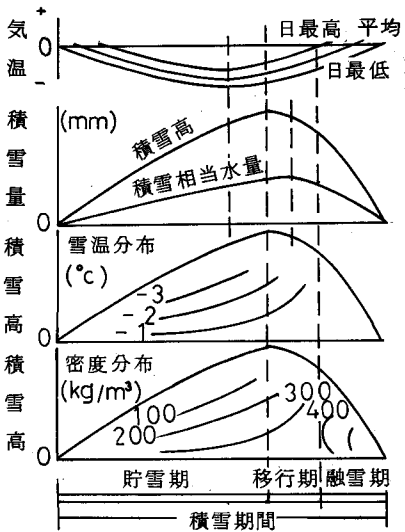


図-1 積雪の状況(モデル)

3. 積雪の状態 (1)

積雪断面はいくつかの層の積み重ねとして観察できるが、各層が全く異質ということは少い。層の分離がある場合は、層間の時間の経過を意味するわけであるが、実際の解析上は単層とみなしてよいと考えられる。これは、累加降水量をみても、積雪期間中、一様とみられる降水量増加がみられること、あるいは、雪温の分布も層を隔てて、なお連続的な変化を示していることによる。したがって、各層間において、氷板層がみられたりした場合も、解析上は、上下周囲との平均化サンプリングにより密度組成が連続的に取扱われた。

また、融雪期では、層序が大部分消滅して均質な系ともみられた。ただし、層の上下の位置関係は多少残っている。このようにして、積雪全層の密度分布、雪湿分布、積雪相当水量の調査結果から、図-1に示されるような積雪様式をみることができた。

4. 積雪の状態 (2)

わが国でいわゆる積雪地は、1道1府22県とされる。北海道、東北(青森、秋田、山形、岩手、宮城、福島)、関東(栃木、群馬)、中部(新潟、富山、石川、福井、山梨、長野、岐阜)、関西(滋賀、京都、兵庫)、中国(鳥取、島根、岡山、広島、山口)がそれで、世界的にも記録をもつ積雪地帯である。また、地理学的気候区分によると、日本における平均気温は南北における較差がたいへん大きく、降水量の分布も地域ごとに異なるとされる。そこで、降雪の地域特性について考察を試みたところ、降雪量の年降水量に占める割合も、地域性がみられた。

1) 月平均降水量の変動

いま、年間の降水量を、月平均降水量の時系列として、平均ゼロ、標準偏差1の基準化された月降水量(平年値)の二次定常の時系列で、札幌、岩見沢、旭川、および、苫小牧の例をみると、それぞれ異った様相がみられる。一方、年総降水量分布図によると、道内のこれら4地点に大きな差はみられない。

2) 月平均気温の変動

4地点について、さらに気温を二次定常の時系列で示すと、4者とも同様な波形が得られる。年平均気温も大きな差はみられない。加えて、日本

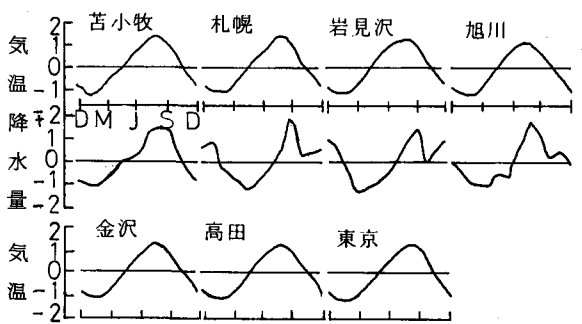


図-2 月平均降水量・月平均気温の変動
(二次定常の時系列)

の各地と比べてみた場合も、波形はほぼ一様とみられ、季節変化の同時性を示していると考えられる。したがって、4地点における降水量の変動がそれぞれ異った波形を示したのは、地形等の影響、あるいは地理上の特性によるものと考えられる。

3) 降水量の寒候期分比(降水量比)

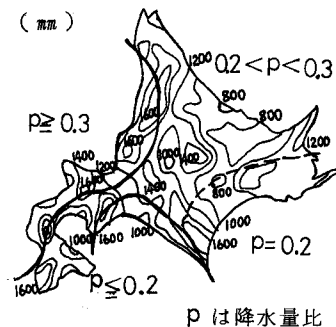


図-3 降水の地域特性(1)

北海道の場合、年間の12月 年降水量分布図(1941~70年)

~3月は積雪期間で、降雪による降水量増加期間とみなしてよいから、降水量変動の性状を区分して、年総量に対する季節降水量の比を求めると、図-3のような地域特性が得られた。また、寒候期(12月~3月)降水量は降水量比と一次的な関係がみられる。同様

に国内の他の地点についても、もう1つの関係がみられ、北海道の場合とは明瞭に区分される地域特性と考えられる。その意味では、北海道の積雪は地域独自のものといえるかもしれないが、気候状態(平均気温)を1つの積雪条件と仮定すると、本州方面でも高度1,000m以上の地点は北海道と似た積雪状態にあることも予想される(ただし、北海道と本州の平均気温較差を6℃と考える)。この点で、積雪の状態(1)は北海道においてであるので、本州方面の積雪状態に対しては別に継続的な資料が必要であろう。なお、図-4では、那覇を除けば降水量比0.2以上の地点が、ほぼ積雪地に包含された。

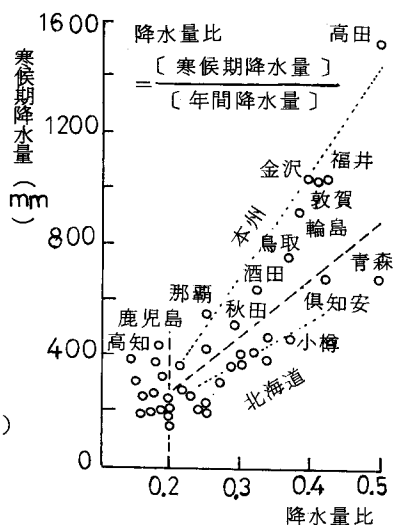


図-4 降水の地域特性(2)
寒候期(12月~3月)降水量

5. 積雪相当水量の変化

積雪の調査データを得た美唄(露場)と札幌(植物園、農場)では、12月から4月上旬までが積雪期間となっており、多くの場合、気温が寒極を越えた時点で多量の降雪があつて最大積雪高を形成し、以後、積雪高は減少して融雪期となる。これを、さらに積雪高の時間変化形式について分類をしておく。最大積雪高が1月までにみられた場合を前山型、2月1日から20日までを中山型、21日以降を後山型と名づけておく。図-5に1979年と1980年の例を示したが、これらは対照的な積雪型となっている。すなわち、1979年は前山、あるいは、中山型に属し、1980年は後山型である。しかし、積雪の終日は、4者ともほぼ同時で、1980年では最大積雪高が露場と植物園とで30cm以上も差がみられたものが、積雪末期では重なるような減小曲線を描いている。

積雪高を積雪相当水量に換算したものが図-6である。1979年は積雪高が2月から減小してきているわりに、水量は3月末まで残存し、1980

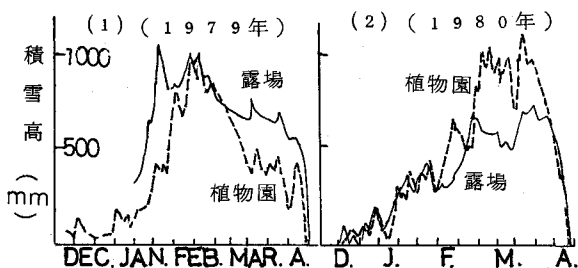


図-5 積雪型 (1) 前山型 中山型 (2) 後山型

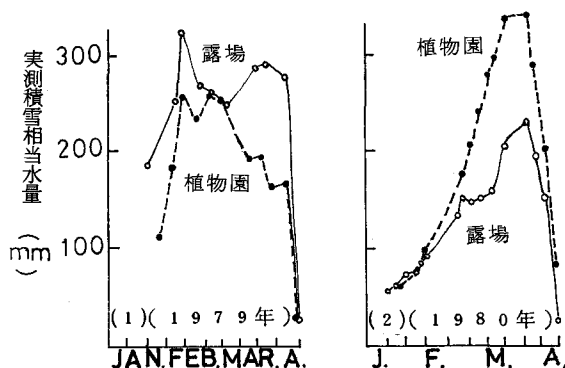


図-6 積雪相当水量

年ともほぼ同程度の積雪量のあったことが伺われ、結局、融雪は兩年とも同一時期まで持続したものとみられる。このように、積雪高の減少がただちに融雪とはならないようである。また、積雪高が美唄と札幌とでは異り、ともなうて水量に差が生ずるのは、降雪の地域性によるものであるが、3月末からは、いずれの場合においても様な融雪がみられるのは、冬から春へという気候変化によるもので、それゆえに、積雪終日が4月初めに収束するものと考えられる。一方、積雪高と積雪水量とのピークに、ずれが生ずるのは、新雪が累加したことによる積雪高の伸長よりも積雪の圧縮量の方が大きいためであろう。したがって、融雪期の積雪相当水量の変化を追跡するためには密度の変化を知る必要がある。積雪期間は図-1のように貯雪期と融雪期とに区分されるので、この両者の場合を考える。

6. 積雪期間中の貯雪期における密度

積雪期間中の降水量、積雪高、積雪相当水量の関係は、図-7のようになる。積雪高は期間中、降雪・粘性圧縮の繰り返しで変動が激しい。3月にはいと融雪の影響も加わり、複雑である。ところが、積雪期間中の降水強度は、ほぼ一定のようである。1980年の札幌の場合、一次回帰とみなすと次のように表わせる。

$$P = 3.24 + 3.2N$$

P；累加降水量（mm），N；日数（1月1日からの累加日数）
また、積雪がこば通りであるならば、積雪相当水量はこの強度式の勾配に沿って増加を示すことになる。実測された相当水量の変化をみると、ほぼこの関係を満たしているものと考えられる。そして、この関係が満たされなくなったときに融雪の開始とみることができる。1980年にお

ける農場、植物園の積雪相当水量は3月3日頃まで降水量の増加と等値な増加をしている（図-8）。よって、この積雪期間を、とくに、貯雪期といっておく（図-1）。貯雪期は、図-9.1.0.でみられるように密度と雪温がともに対応する分布がみられ、積雪内部断面にもいわゆ積る成層状態があり、小島氏の粘性圧縮による密度の決定法が十分に成立する期間であるといえる。

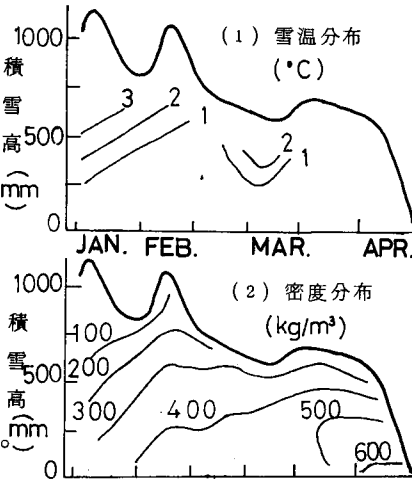


図-9 積雪の状況Ⅰ
(露場・1979年)

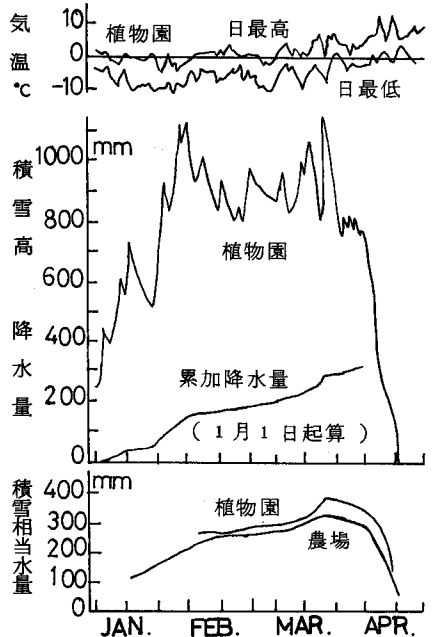


図-7 積雪相当水量と降水量
(1980年)

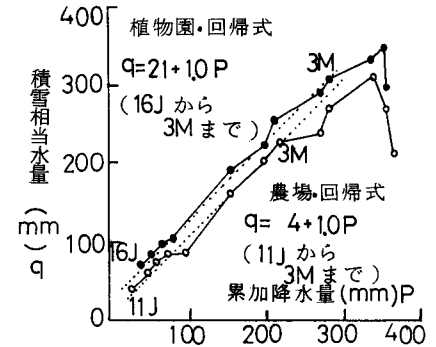


図-8 積雪相当水量の変化(1980年)

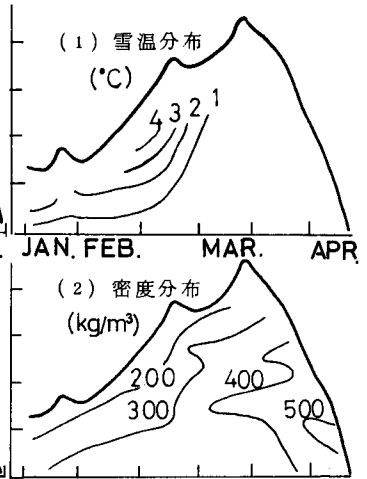


図-10 積雪の状況Ⅱ
(植物園・1980年)

7. 積雪期間中の融雪期における密度

融雪開始時期は、図-11のように明らかにできる。これは、1981年1月1日起算の降水量の累加と、積雪相当水量との対応をみたものである。積雪相当水量は17F(2月17日)の時点まで、降水量と1次の関係をとるが、10M(3月10日)の時点では、この関係がくずれる。すなわち、融雪による積雪相当水量の減少の始まりを示している。そこで、積雪相当水量の減少期間を、貯雪期に対して融雪量の出現期間という意味の融雪期ということができる。

融雪期は、外気温による影響のため、積雪量の変成が既に起きている。積雪層内部は、0℃近傍の負の値をとり、一様な雪温分布、および、密度分布とみてよい。したがって、積雪相当水量の減少過程、すなわち、融雪量の推移は気温の影響が直接的に関係し、図-12に示すようになる。ここで、融雪量 $S(cm)$ は

$$S = P - U$$

P ; 累加降水量 (cm) , U ; 積雪相当水量 (cm) とする。

また、密度の構成をみると、この時期には図-13でもわかるように密度は高い値に収束してきている。その際、雪温は極めて0℃に近いことから、熱的には不安定な期間といえる。わずかな熱量の加減で密度の変化する状況を図-14に示した。融雪初期の密度は漸変移行状態である。こういった2月の末から、3月初旬にかけての積雪層内部構造変化は、図-1で気温の上昇変化の状況とも対応し、積雪相当水量の増加がみられなくなるまでの期間、継続するようである。したがって、この期間は貯雪期の末期とも考えられ、とくに、移行期と呼ぶ。この時期は融雪期の始まりでもある移行期では、積雪層の上部から中間部でも密度上昇が大となる均等化現象がみられ、観察によれば、全層がザラメ状になっていく過程である。同時に鉛直方向の水分移動

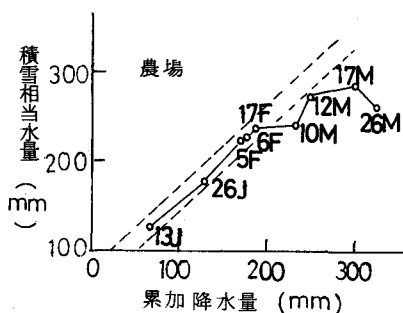


図-11 降水量と積雪相当水量
J: 1月 F: 2月 M: 3月
A: 4月

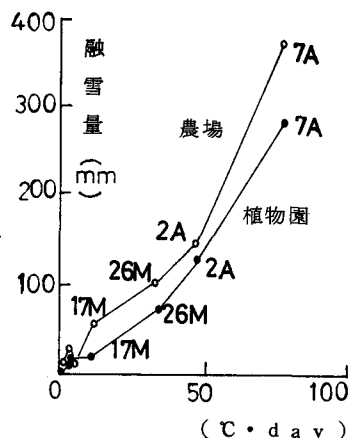


図-12 融雪量と気温日数
(1981)

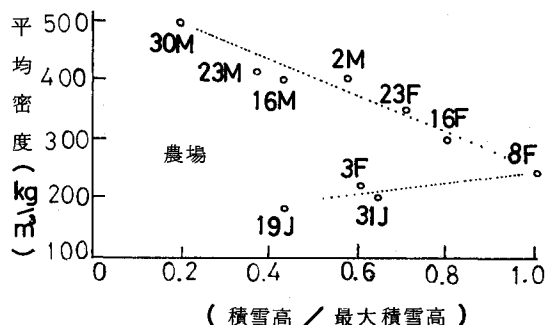


図-13 平均密度と積雪量 (1979)

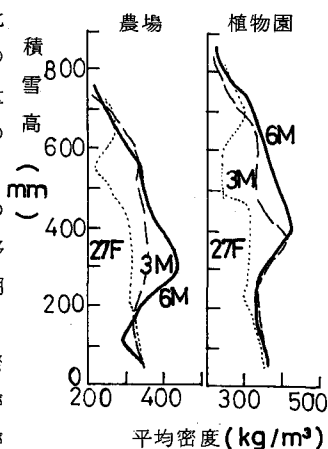


図-14 積雪の垂直密度分布
(1980)

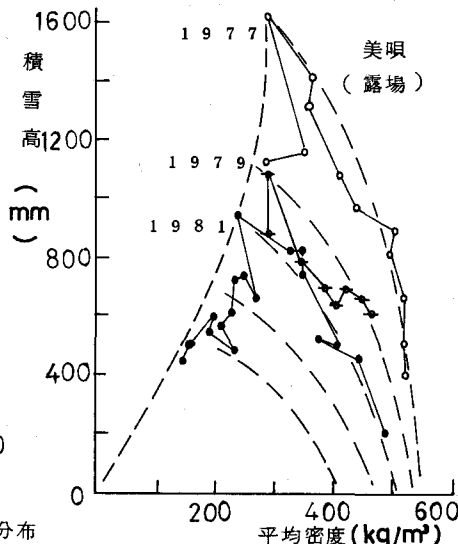


図-15 平均密度と積雪高

も活発化しているから、成層はなくなり、粘性圧縮による密度の決定法は使用できなくなる。

そこで、このような融雪期の密度の収束点を定量化して図-13のような関係で示すことができた。一般的な傾向として、積雪高を用いた場合は、最終の平均密度は積雪高が大きいほど大きい値をとるようである。したがって、融雪期の平均密度の決定は、図-15の曲線の履歴をたどって考えるか、あるいは、任意の積雪高に対して、平均密度の位置は一定の関係(図-16)にあるので、現地において、雪面から積雪高の3分の1の深さの積雪密度を評価するなどの方法が考えられる。

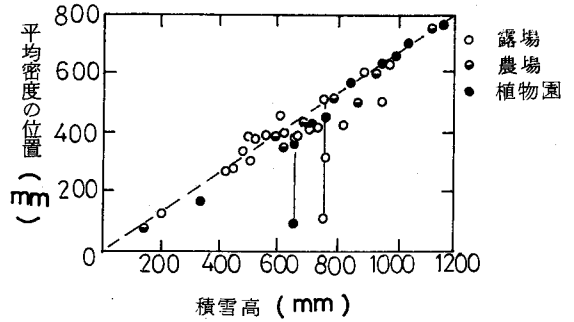


図-16 平均密度の位置と積雪高

(美唄・札幌・1981)

8. おわりに

積雪相当水量とその特性を知るために、主として積雪の実測調査を行い、1977年から北海道の多雪地に属する美唄と札幌で得たデータに、1963年から札幌の別地点で行われている観測資料を参考にとり、積雪深、密度、雪温を要素とした解析を試みた。調査対象地点は、平地(草地、裸地)、山地傾斜地(林地、裸地)であり、実測は一季節10~20回に渡り、積雪深、密度、雪温、気温などの観測を行ったものである。その結果、次のようになる。

- 1) 積雪地域、および、それ以外の地域などについて、寒候期(12月~3月)の降水量比を比べると、北海道は、本州方面とは分離した関係がみられた。北海道内部では、太平洋側、日本海側、その中間区域といった地域特性がみられた。
- 2) このように限られた地域での観測結果ではあるが、積雪相当水量を経験的にモデル化すると、貯雪期における増大、融雪期における減少が、雪温の影響を受けた密度の変動過程との対応として捉えられ、積雪状況の定性づけにもなった。
- 3) 積雪密度は、積雪期間中継続的に変化するもので、融雪期の平均密度を決定するためには、あらかじめ各積雪高ごとの密度履歴曲線(図-15、あるいは13)を推定しておく必要がある。より一般性を高めるためには、やはり多くの定期的継続積雪調査が有効であると考えられる。
- 4) 平均密度の位置について積雪高との関係がみられ、平均密度は雪面から積雪高の3分の1の深さにある。たとえば、この位置の採雪だけですめば、採雪作業は軽便になると考えられる。

参考文献

- 1) 小島賢治他；札幌の平地積雪断面測定資料報告、昭和38~39年冬期、低温科学A, 23, 1964.
- 2) 山梨光訓；積雪深の変動過程, I~V, 専修大学北海道短大紀要, 9・10~14, 1977~81.
- 3) 札幌管区気象台；北海道農業気象月報
- 4) 小島賢治；積雪層の粘性圧縮Ⅱ, 低温科学A, 16, 1967.
- 5) 理科年表, 丸善, 1980.
- 6) 改訂版 北海道の気候, 気象協会北海道本部, 1973.