

II-14 北見工業大学寒地気象観測システムを用いた融雪観測について

北見工業大学 正員 中尾隆志

北見工業大学 正員 佐渡公明

1. はじめに 水文現象を取り扱う場合に限らず気象関連の解析・現象の説明に気温・降水量といった気象データを用いることが多い。著者らもこの数年、寒冷地における水理構造物への水圧力の影響、融雪に関する研究を行っているが、何れの場合でも気象データが解析上重要となる。現在北見市において、利用可能な気象観測機関としては気象庁のアメダス観測と北見市が独自に行っている天気相談室の2機関がある。前者はいわゆる気象4要素（気温・風向風速・降水量・日照時間）と冬期間には積雪深を加えた5気象要素の毎正時のデータのみしかなく、しかも利用時には網走まで赴き閲覧するというのが現状である。後者は観測項目は前者より多岐にわたっているが測定データは6、9、12、15時だけの定時観測である。この様な状況下で本学では、北見地方の気象特性を明らかにし、これらの気象データを研究に生かそうということから、かねてより気象観測システムの導入を検討していたが、昨年度この予算が認められ、1986年12月より暫定運用ではあるが（本格的な運用開始は1987年9月より）寒地気象観測システムとして運用を開始した。

本報告は、この寒地気象観測システムの概要と本システムを用いた実測例として、1987年3月10～20日までの融雪最盛期における融雪観測例について、熱収支計算による積雪表面の融雪量とスノーライシメーターによる融雪量の実測値について比較検討したものである。

2. 寒地気象観測システムの概要 気象観測を行う場合、高い建物や樹木等による風向風速への影響やこれら構造物によってできる日陰による日射量・放射収支量に対する影響、主風向等を考慮しなければならない。本観測システムの設置場所については上記の注意点の他に測定機器の保守等も考慮し、北見工業大学内の比較の見晴しの良い平坦な高台に広さ $15 \times 15\text{m}$ (225m^2)の観測露場を設置することにした。なお、本観測システムの位置は次の通りである。北緯 $43^{\circ}49'27''$ 東経 $143^{\circ}54'13''$ 標高 98.889m

気象観測要素については通常、各気象官署で行っている気温・風向風速・降水量等の基本的な気象要素の他に本気象観測システムではその利用目的上、放射収支量・地中熱流・蒸発量・融雪量等の気象要素も観測している。図-1はこの気象観測システムで用いている各気象測定機器の露場内における配置を示している。機器の配置に当たっても観測用ポール、観測機器の日陰による日射量・放射収支量への影響を防ぐよう考慮し観測小屋は北側に配置し、積雪深計は建物による吹き溜りの影響を考え、観測小屋からできるだけ離れた場所に設置している。また、図中の括弧内の数値は測定機器の地表面上の設置高さを示しているが、冬期間積雪により測定機器が雪の中に埋没しないよう北見における過去の最高積雪深データ(103cm)より各測定機器の高さを決定した。また、測定機器の測定範囲についても同様に過去の北見の気象データの最大値を考慮して、測定機器の機種を決定した。露場内は日射の照り返しや雨水の浸食を防ぐため地面には芝を張り、さらに犬や猫などの進入を防ぐため露場内の周囲は全て金網フェンスで囲っている。

図-2は本気象観測システム構成の概要を示している。露場内で計測した各気象データは露場に隣接している観測小屋内にある各変換器を経由し、30chハイブリッド記録計(チノー AA-030)へ電圧や電流変化として送られる。ハイブリッド記録計では各気象要素に基

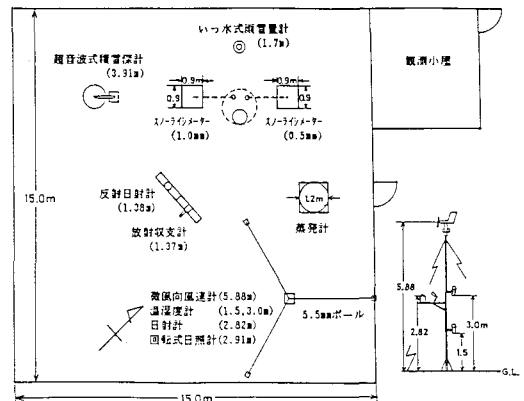


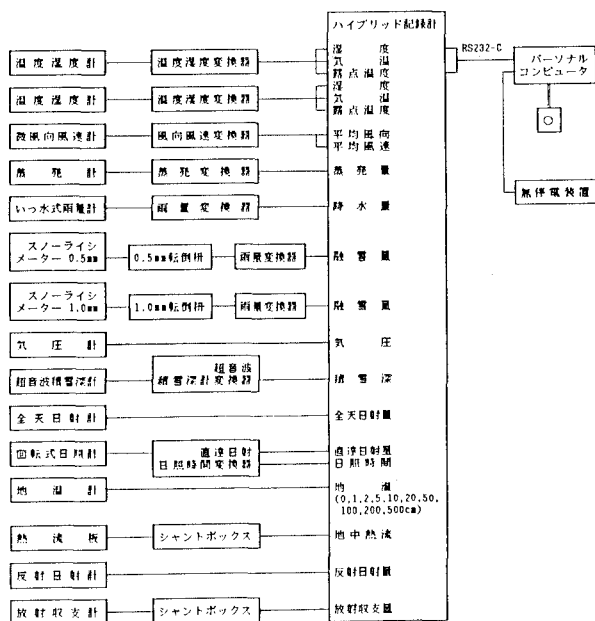
図-1 観測機器配置図

づいた単位変換がなされ、チャート紙に各データがアナログ記録される他に7時間毎デジタル印字も行われる。これらの気象データはRS-232Cインターフェースを介し、パーソナルコンピュータ(NEC PC-9801vm2)にも瞬時値データとして転送される。本システムのデータ処理は主としてこのパーソナルコンピュータで行われる。ここでは30秒毎にハイブリッド記録計から送られてくる各データの瞬時値にもとづき放射収支量・全天日射量・直達日射量・反射日射量・地中熱流の5気象要素は積算され、毎正時に1時間平均値として、またこれら以外の気象データは瞬時値として毎正時毎にフロッピーディスクにデータが保存される。さらに各気象データの1時間内の最大値、最小値およびこれらの起時も同時にデータ保存される他、時間が10、20、30、40、50、60分の時の10分間平均風向風速も同時にフロッピーディスクに記録される。これらのデータ

の最大記録可能な日数は5インチ両面高密度ディスクで約54.5日分であるが次に述べる気象データの日報・月報の作成上1ヶ月毎に定期的にディスクの交換を行っている。

以上述べてきた気象観測は無人の観測小屋内にあるパーソナルコンピュータで自動的にデータ収集が行われるため種々のトラブルが予想される。特に、気象データのフロッピーディスクの書き込み時における停電の発生はデータディスクの破壊を招く恐れがあるため、30分程度の短期の停電対策ではあるが、ハードウェア上、無停電装置をパーソナルコンピュータに接続して対処しており、一方ソフトウェアの面では停電の開始および復電時の時刻がデータディスクに書き込まれ、後での停電時の確認が容易に行えるようになっている。また上記に述べてきた気象観測データのソフトが自動的に再スタートするような対策が施されている。

上記で観測された気象データは1ヶ月毎に寒地気象観測日報、寒地気象観測月報として資料を公開している。表1、2は本気象観測システムによって得られた1987年10月1日の気象日報と10月の気象月報の出力例を示したものである。日報作成は反射日射量、全天日射量、アルベド、直達日射量、純放射量、地中熱流の熱量に関する気象要素は1時間平均値を示し、降水量、降雪深、融雪量、日照時間、蒸発量については1時間積算値である。また風速・風向は当該時刻の10分前からの10分間平均値が、その他の気象データは当該時刻の瞬時値が毎正時に出力される。さらに毎日の日積算値、日平均値(風向は日最多風向)の他に各気象データの日最大値とその起時(但し、風向については日最大風速の時の風向)および日最小値とその起時についても記載している。日射に関する反射日射量、全天日射量、アルベド、直達日射量、日照時間については夜間太陽日射が無いので1年間の北見における日の出、日の入りの時刻より判断して0~3、21~24時の毎正時の出力を空覧としている。また、日報・月報共蒸発量は冬期間大型蒸発計が凍結して使用不可能となるため、6~9月のみ出力し、同様に積雪深、降雪深、融雪量は冬期のみしか出現しないので6~9月には空覧となる。月報には日平均値として気温、相対湿度、風速、露場及び海面補正気圧、地温(地表面下1、2、5m)の他に日最高値として気温、相対湿度、風速、積雪深がまた、日最低値としては気温、相対湿度、積雪深が記載されており日積算値としては降水量、降雪深、融雪量、全天日射量、蒸発量、日照時間が、さらに日最多風向として16方位別の10分間平均風向による1日144個の風向データより得られる日最多風向と1時間最大降水量が記載され



図一2 寒地気象観測システム構成図

ている。各気象要素は日最多風向、気圧を除き旬別の積算値が記載されており、同様に日最多風向を除く上記気象要素の各旬および月平均値も記載されている。これらの各気象データはそれらの最大値とその発生日(起日)および最小値と起日が日最多風向を除き記載されている。月報下段には反射日射量、全天日射量、純放射量、地中熱流の月積算値とこれらの月平均値の他に月平均のアルベドも記載されている。本気象観測

表 1 寒地気象観測日報の出力例

寒地気象観測日報 1987年10月																				北見工業大学 寒地工学実験室	
***** 10月 1日 *****																					
時刻	気温	相対湿度	露点	風向	風速	降雪量	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深
0.1℃	0.1℃	%	0.1℃	方位	m/s	mm/h	cm	cm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h
1	80	86	57	WNW	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	72	88	52	S	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	70	87	49	W	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	61	86	39	ESE	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	53	88	35	WNW	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	54	88	36	WNW	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	77	84	51	W	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	97	78	58	SW	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	124	71	73	WSW	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	149	62	77	SSW	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	167	52	69	S	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	173	51	70	SE	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	184	49	74	SE	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	184	52	85	ENE	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	177	55	85	ESE	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	169	55	79	ESE	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	138	72	89	ENE	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	127	76	85	ENE	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	108	84	81	WNW	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	100	84	74	WNW	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	119	73	84	WSW	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	125	78	88	SW	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	130	79	95	SW	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	119	80	85	SW	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
積算	2857	1764	1670		102	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
平均	119	74	70	SW	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
最大	190	90	97	E	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
起日	1325	0927	2242		1406	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
最小	48	47	30		1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
起日	0512	1135	0514		0031	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表 2 寒地気象観測月報の出力例

寒地気象観測月報 1987年10月																	北見工業大学 寒地工学実験室																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
日	気	温	0.1℃	相	対	湿	度	風速	0.1m/s	最大	降雪量	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深	降雪深

月報の特徴の一つとして、その利用目的から月積算暖度（日平均気温が 0°C 以上の積算値）および月積算寒度（日平均気温が 0°C 未満の積算値）や真夏日、夏日、冬日、真冬日の寒暖日数も記載されている。さらに、10分平均風向から求めた16方位別の風向頻度が百分率で示されており、その月の気象の特徴が把握できるよう配慮している。

3. 融雪観測 本気象観測システムでは冬期間融雪量の計測も行っている。本章ではこの観測システムより得られた実測の融雪量と本システムから得られた気象観測データで求めた熱収支法による積雪表面の融雪量の比較検討について述べる。

3-1 スノーライシメーターによる融雪の観測 融雪量を実測する方法は従来から種々の方法が行われてきた。比較的簡単な方法として積雪深の減少量に雪の密度を乗じて算出する方法がある。雪の密度は雪質により $0.03\sim 0.5\text{g}/\text{cm}^3$ と大きく変化し¹⁾、融雪量を求めるにはこの密度が大きく影響する。しかし、融雪最盛期のように雪質がざらめ化し密度が $0.3\sim 0.5\text{g}/\text{cm}^3$ とほぼ一定になるような場合、積雪深の変化でおおよそその融雪量を推定することができる。第二の方法として雪の重量変化から求める方法がある。これはふるいの中に積雪と同じ状態で雪を詰め融雪が起これると融雪水はふるいを通して下の受け皿に溜る。従って、融雪前後の受け皿の重量変化から融雪量が求まるのであるが、観測時に降雪があるとこの重量補正を行う必要があり、また雪の試料を詰める容器からの熱伝導により、一般に融雪量は真の値よりも過大になる²⁾。更に大規模ではあるが近年数多くの研究で比較的良好の結果を得ている方法として、スノーライシメーターを用いる方法がある³⁾。この方法は地面上に予め積雪前に融雪水の受け皿を埋設しておき、融雪水はこの受け皿を通して地下室に設置されている転倒枡雨量計に流れ込む。雨量計の値より直ちに融雪量を求めることができる。この方法は転倒枡を用いているので自動観測に適しており、本気象観測でもスノーライシメーター法を用いている。図-3は本システムで用いているスノーライシメーターを示している。融雪水の受け皿の大きさは $90\times 90\text{cm}$ の正方形の形状のものを 4m 離して2台設置した。転倒枡雨量計は冬期間凍結しないよう地下室を作りここに設置し、受け皿と塩ビ管で連結している。この時、地下室の暖かい空気でスノーライシメーター受け皿付近の地温が上昇し、これによる融雪量が生じないよう各々の受け皿の中心から地下室中心まで 2m 離して地温上昇による融雪の影響を小さくしている。転倒枡雨量計は口径 20cm で1転倒当り 0.5mm 、 1.0mm 用を1台ずつ用いた。従って、受け皿の面積と雨量計の受け口の面積比から1転倒当りの融雪量（最小測定融雪量）はそれぞれ 0.0194mm 、 0.0388mm となる。

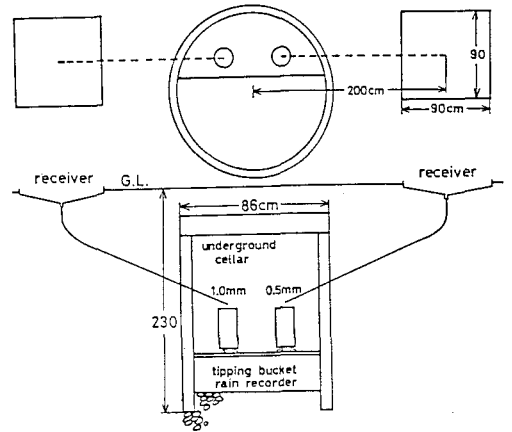


図-3 スノーライシメーター

3-2 熱収支法による積雪表面の融雪量 融雪量は積雪に入出入りする熱収支から求めることができる。積雪における熱収支としては、1)積雪表面の熱収支、2)積雪内部の温度分布に伴う熱伝導、3)地温と積雪下面の温度差による地中伝熱量に大別される。このうち2)は融雪全盛期には積雪層内の雪温は融雪水によりほぼ 0°C で一樣と考えられるので無視することができる。3)については地温分布が判れば容易に求めることができる⁴⁾。図-4は1986～87年の一冬間、北見工大キャンパス内で実測された凍結深の変化を示している。雪の熱伝導率は小さいので地面が凍結する前に積雪があると、冬期気

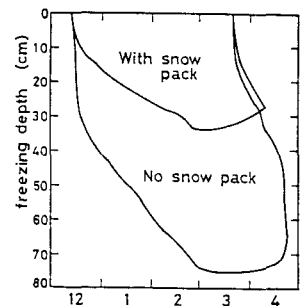


図-4 北見における凍結深の変化

温がかなり低下しても積雪が断熱材の役割をし、地面の凍結は起こりにくい。しかし、北見のように、根雪になる前に真冬日が続く日もあり、融雪最盛期に地表面は融解しても地表面下10~30cmは凍結しており、更に融雪水が流れ込んでくるため、地表面の温度と積雪下面の温度差は小さく、3)は無視できる。従って、融雪を評価する熱収支は積雪表面の熱収支のみ考えることにする。積雪表面の熱収支量 H_T は雪面に対する加熱を正とすると次式で表される。

$$H_T = R_N + L \alpha_E (e_a - e_g) + \alpha_s (\theta_a - \theta_g) + C_w \rho_w r (\theta_r - \theta_g) \quad (1)$$

ここに、 R_N :放射収支量、 L :蒸発の潜熱(雪面の場合、677cal/g)、 α_E, α_s :潜熱伝達率及び顕熱伝達率、 e_a :空気中の水蒸気圧、 e_g :雪面の飽和水蒸気圧、 $\theta_a, \theta_g, \theta_r$:気温、雪面の温度、雨滴の温度、 C_w, ρ_w :水の比熱、密度、 r :降水量

小島は α_E, α_s として風による強制対流のみを考え、高さ1mの風速の1次式として次式を与えている⁵⁾。

$$\alpha_E = 1 \times 10^{-3} U, \alpha_s = 0.38 U \quad (2)$$

融雪最盛期には積雪面における雪温は常に0℃であると仮定すると、 $e_g = 6.11\text{mb}$ 、 $\theta_g = 0^\circ\text{C}$ となり、雪面での融雪量 M は H_T が正の場合、融解熱量 ($1=79.7\text{cal/g}$)と ρ_w で除することにより、

$$M = H_T / \rho_w 1 = \{ R_N + L (e_a - 6.11) U \times 10^{-3} + 0.38 U \theta_a + C_w \rho_w r \theta_r \} / \rho_w 1 \quad (3)$$

式(3)の最終項は雨の持ち込む熱量であり、降水量があっても降雪の場合、考慮しなくてもよい。

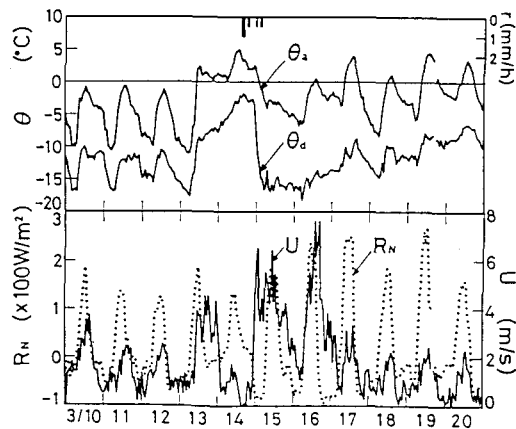
4. 雪面融雪量とスノーライシメーター法による融雪量の比較 スノーライシメーター法では受け皿を積雪下面に設置してあるので、積雪表面で生じた融雪水は積雪層中を浸透して流下することにより時間遅れを伴う。また、積雪表面で生じた融雪水は一般にその一部が積雪層内で毛管水となって残るためスノーライシメーターで得られる融雪量は小さくなる。これらのことを検証するため、本気象観測システムで得られた気象データを用い、1時間毎の積雪表面の熱収支計算を行い、実測の融雪量との比較検討を行った。解析に用いた期間はスノーライシメーターによる融雪量が最も多くなる前の1987年 3月10日からスノーライシメーターの受け皿の表面が露出し始める 3月20日までの11日間である。なお計算に当たり、気温は高さ1.5m、風速は 5.88m/sの値をそのまま用いており、高さ1mに対する高度変換は行っていない。また、 e_a については1.5mにおける露点温度 (θ_d)を用いて飽和水蒸気圧を求めるMagnus-Tetnsの近似式に直接代入することにより求めた。雨滴の温度は乾湿球温度計の湿球の温度に等しいとして、次の関係式を用い、Newton法により求めた。

$$e_{sat}(\theta_r) - K_c P (\theta_a - \theta_r) = e_a \quad (4)$$

但し、 $e_{sat}(\theta_r)$: θ_r に於ける飽和水蒸気圧、 K_c :乾湿球定数($K_c=0.5/755$)、 P :気圧

図一5は観測期間中の $\theta_a, \theta_d, r, U, R_N$ の時間変化を示している。観測期間中、降水量は合計 3.5mmあったが雨滴の温度を計算したところ 3月14日24時と15日 3時のおおの 0.5mmは共に雨滴の温度が負となり、降雪と判断した。また、3月19日17時のデータはハイブリッド記録計のトラブルで欠測となった。

図一6は式(3)を用いて求めた積雪表面で生じる融雪量(M_{calc})と1mmの転倒枡を用いたスノーライシメーターによる融雪量の実測値(M_1)の値を1時間毎に求め比較したものである。0.5mmの転倒枡を用いたスノーライシメーターによる実測値は M_{calc}, M_1 に比べかなり大きな値となっており、今回の解析から除外した。値が大きくなった原因としては 0.5mmスノーライシメーターの設置位置が観測小屋に近く観測小屋からの輻射熱の影響及びスノーライシメーター付近の積雪層内に氷盤が形成され、スノーライシメーター付近の融雪水の一部も流れ込んだためと考えられる。図一6によ



図一5 $\theta_a, \theta_d, r, U, R_N$ の時間変化

れば融雪初期の3月10日から13日にかけて $M_{c,ai}$ があるにもかかわらず M_1 の値は小さい。これは積雪表面の融雪水の大部分が積雪層内に溜ったためであると思われる。融雪最盛期の14日以降は $M_{c,ai}$ と M_1 はほぼ同じ傾向を示すが日最大融雪量の出現時刻について M_1 は $M_{c,ai}$ に比べ遅れる。これは積雪表面の融雪水が積雪層内を流下して積雪下面に到達する時間遅れである。また表面融雪が終了した後も M_1 の出水は夜間まで漸次減少しながら続く。表面融雪と積雪下面のピーク時間遅れの毎日の値を表3に示す。観測期間中 $M_{c,ai}$ のピーク出現時刻はほぼ12時前後であるが M_1 のピークはこれよりやや遅れその時間遅れは積雪深の減少と共に早くなり観測期間中の平均では2.1時間であった。融雪量($M_{c,ai}$)を積雪深の低下量(Δh)で除することにより、積雪層内の平均密度(ρ_s)が求まる。観測期間中の平均密度を求めると 0.28g/cm^3 となる。これは3月5日に行ったスノーライシメーターの積雪断面観測の結果、積雪表面ではざらめ雪($\rho_s=0.3\sim0.5$)、下面ではこしまり雪($\rho_s=0.15\sim0.25$)と比べほぼ妥当な値であると思われる。

5. まとめ 以上得られた結果をまとめると以下のようになる。

1) 積雪表面の融雪は融雪初期において、その大部分は積雪層内で毛管水となって保持される。

2) 融雪最盛期における表面融雪量のピークは正午頃であり、積雪下面への到達は観測期間中最大時間遅れで4時間であり、この遅れは積雪深の減少と共に小さくなる。

3) 積雪表面で融雪が終了した後も積雪下面への浸透は漸次減少しながら続く。

今後は本気象観測システムを利用して、積雪表面の融雪水の積雪下面への到達時間遅れについて詳しく調べる予定である。なお、本研究は文部省科学研究費補助金(重点領域研究1、北海道における春先の異常出水のメカニズム、代表 北海道大学 山田正)の補助を受けて行った研究成果の一部であり、記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 日本気象学会編: 積雪の分類名称、雪水の研究、No. 4、1965。
- 2) 中尾隆志・佐渡公明: 融雪に関する熱収支モデルの近似について、土木学会北海道支部論文報告集、第42号、pp. 185~190、1986。
- 3) 例えば、小池俊雄、高橋裕、吉野昭一: 融雪量分布のモデル化に関する研究、土木学会論文集、No. 363、pp. 165~183、1983。
- 4) 佐渡公明・中尾隆志: 河川水温に対する河床伝熱量の影響について、第27回水理講演会論文集、pp. 219~244、1983。
- 5) 小島賢治: 融雪機構と熱収支、気象研究ノート、Vol. 136、pp. 1~38、1979。

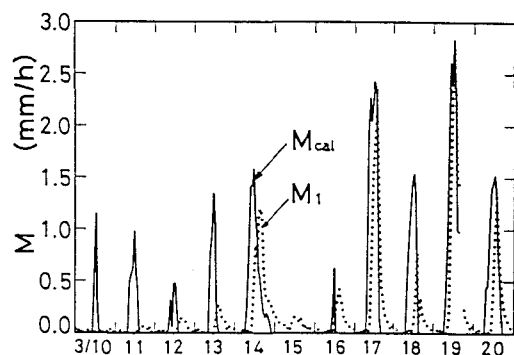


図-6 融雪量の計算値と実測値の比較

表 3 ピーク融雪量の時間遅れと積雪の密度変化

最大時間 融雪量の起時 月日	$M_{c,ai}$	M_1	時間 遅れ (h)	積雪深 h (cm)	Δh (cm)	日 融雪量 (mm/d)	ρ_s
3/10	11-12	—	—	28.0	-1.0	2.03	—
11	11-12	—	—	29.0	1.0	3.70	0.37
12	12-13	15-16	3	28.0	2.0	1.60	0.08
13	11-12	14-15	3	26.0	3.0	4.29	0.14
14	11-12	15-16	4	23.0	3.0	9.80	0.33
15	—	—	—	20.0	1.0	0.00	—
16	11-12	14-15	3	19.0	0.0	0.81	—
17	12-13	13-14	1	19.0	3.0	14.72	0.49
18	12-13	14-15	2	16.0	2.0	7.55	0.37
19	12-13	12-13	0	14.0	7.5	15.27	0.20
20	12-13	13-14	1	6.5	-2.5	9.13	—
平均			2.1	20.8	1.7	6.26	0.28