



Title	札幌市における都市の融雪特性
Author(s)	油川, 英明; ABURAKAWA, Hideaki; 石川, 信敬 他
Citation	低温科学. 物理篇, 36, 155-168
Issue Date	1979-03-10
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18363
Type	departmental bulletin paper
File Information	36_p155-168.pdf



札幌における都市の融雪特性*

油川英明・石川信敬・成瀬廉二

(低温科学研究所)

(昭和53年10月受理)

I. ま え が き

一般に「融雪」はその地域の気候が概括的に反映された現象と考えられる。すなわち融雪期の山地積雪は高度や斜面の方向により特徴のある融雪量分布を示し^{1),2)}, また盆地などによくみられる気温の逆転現象が融雪量の高度分布にあらわれ^{3),4)}, 森林内の融雪は樹林の状態に応じた特性を示す⁵⁾。

都市においてもその気候に応じた融雪特性が予想され、札幌における融雪の観測を行ないその特徴を調査した。

都市気候はその都市の規模や形態によりそれぞれ特有なかつ複雑な現象を示すが、融雪期においては都市、郊外とも地表面が湿雪によっておおわれるために表面の温度、水蒸気圧、粗度等が同じでさらに接地気層が常に安定、積雪内の熱伝導が無い状態に保たれるので他の季節と比較して最も単純な気候状態にあるといえる。そのため融雪量の観測から都市気候の基礎的な現象や特徴を簡単にかつ総合的に把握ができる。さらに都市気候の観測が容易になるばかりではなく、他の地域や都市とその気候的な特徴を比較する場合にも都合がよい。

札幌市街地の融雪観測は1977, 78年の2カ年にわたり行なわれたが、いずれも同じ傾向の融雪量分布が得られた。また気温の移動観測も同時に行なわれ、気温分布と風向との関連がみられ札幌における融雪期の気候的な特徴についていくつかの知見を得ることができたので以下に報告をする。

II. 観測と結果

1. 観測方法

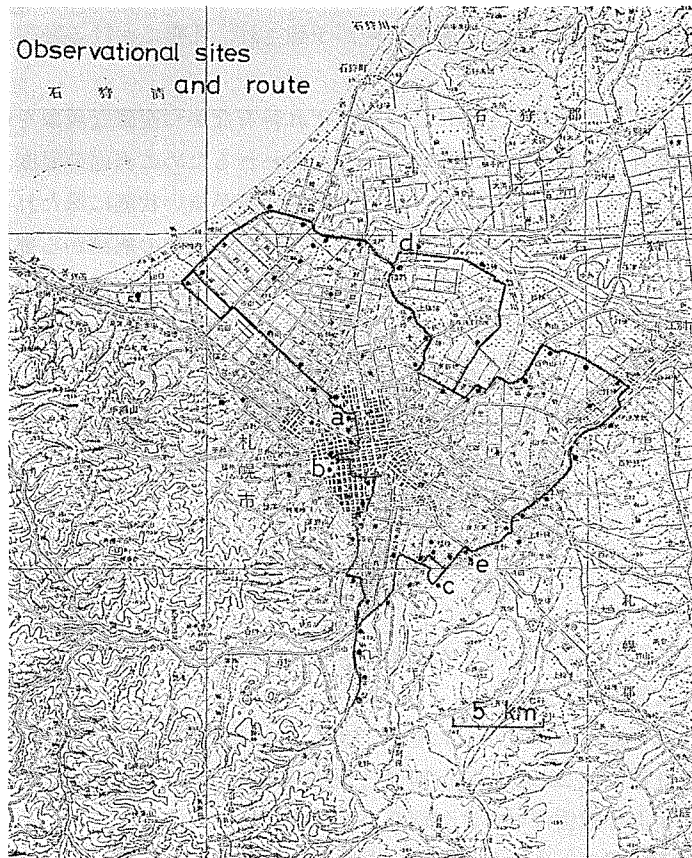
札幌市⁶⁾全域を対称に1977, 78年の融雪期において、積雪深、融雪量、気温分布及び積雪表面の汚れに関して観測を行なった。

積雪深の観測は第1図に●印で示した地点(1977年64地点, 78年44地点)で定期的に行なった。このうち委託観測は20地点, 巡回観測は1977年には44地点で78年はこのうちの24地点であった。巡回観測は積雪深の外に気温及び融雪量についても行なわれ、その経路を第1図の実線で示してある。図のa点は気象観測が常時行なわれている北海道大学低温科学研究所, b点は札幌管区気象台, c点, d点は同時気象観測点, e点は郊外の気象観測点としての北海道

* 北海道大学低温科学研究所業績 第1956号

農業試験場である。

積雪深の観測は雪尺により積雪表面の位置を定時に読みとることにより行なわれ、融雪量はスノーサンプラーにより積雪水量を測定し、一定期間の差により求めたが、含水率は考慮されていない。また気温は自動車の先端に履いをつけ、 0.2°C まで読み取れる C-C 熱電対の装置により走行中に測定を行なった。自動車の走行は $30\sim 40\text{ km/h}$ で、これは 8 m/sec 以上の通風量となり日射や自動車の発熱の影響は無いと考えられる。また路面は積雪の無い状態であったが、道路からはずれた雪面上における測定値とほとんど同じ値を示したので自動車の走行による気温の観測は可能であると判断された。さらに自動車による観測はいつも同じ経路で行なったので、積雪深や融雪量の観測時間に関する差異はあったが、観測時に天候の急変もなく、また観測間隔が4日～7日と長いので正味観測間隔が同じであることを考慮して観測値に対する特別な補正は行なわなかった。融雪期における降雪は1977年には全く無かったが、78年には数センチメートル程の新積雪が観測された。この値は融雪観測に大きな影響がないものとしてこれらを含めて観測を行なった。尚、住宅街での積雪深の観測は屋根雪や除雪の影響がない程



第1図 融雪観測地点と巡回観測経路(実線)

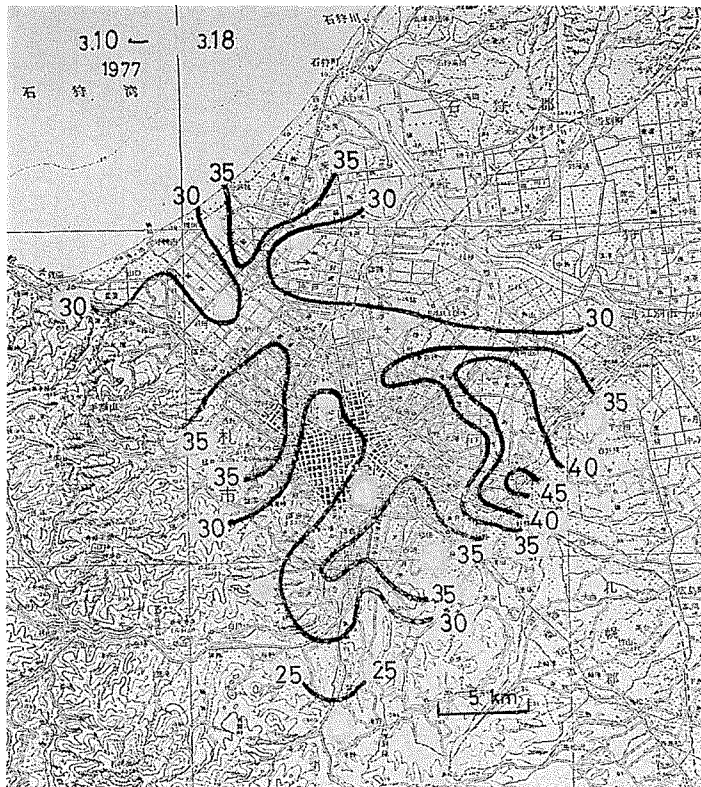
- a: 気象観測点(北大低温研), b: 札幌管区気象台,
c, d: 同時気象観測点, e: 北海道農業試験場

度の空地を利用して行なわれた。

積雪表面の汚れの観測は、それぞれの巡回観測測点の積雪表面から 5 cm 深までの試料を採取し、実験室に持ち帰り白熱灯の光を利用して測定を行なった。つまり、採取した積雪試料を完全に融解させ、その中から一定量の融解水 (300 cc) を濾紙に注ぎ、融解水に含まれている汚れをなるべく均等に濾紙に付着させそれを乾燥する。この濾紙と同じ程度の径をもつ、円筒 (内部は黒く塗装) の片面に乾燥したその濾紙を取りつけその上方より白熱灯を照らし、円筒の他面に取りつけたフォトセルにより濾紙を透過してきた光量を測定する。融解水に含まれる汚れの量が多ければ当然光量は減少するわけである。汚れの度合いは融解水を注がない濾紙の透過光量に対する、それぞれの汚れが付着した濾紙の透過光量の比率で示した。使用したフォトセルは日射計と同じ出力特性を有する⁷⁾もので、この透過光量の比率と試料を採取した積雪表面のアルベドとは直線関係はないにしてもその大、小は積雪のアルベドの大小に対応していると考えることができるのでその比較に利用した。

2. 融雪観測の結果

第2図、3図は1977年の融雪期における雪面低下量 (cm) の分布図である。第2図は3月10日～18日、第3図は3月18日～23日の結果であるが、いずれも不均一な分布を示しており、都心よりも郊外にその最大値がみられる。第2図においては都心の南東部に雪面低下量の最大



第2図 融雪量分布図

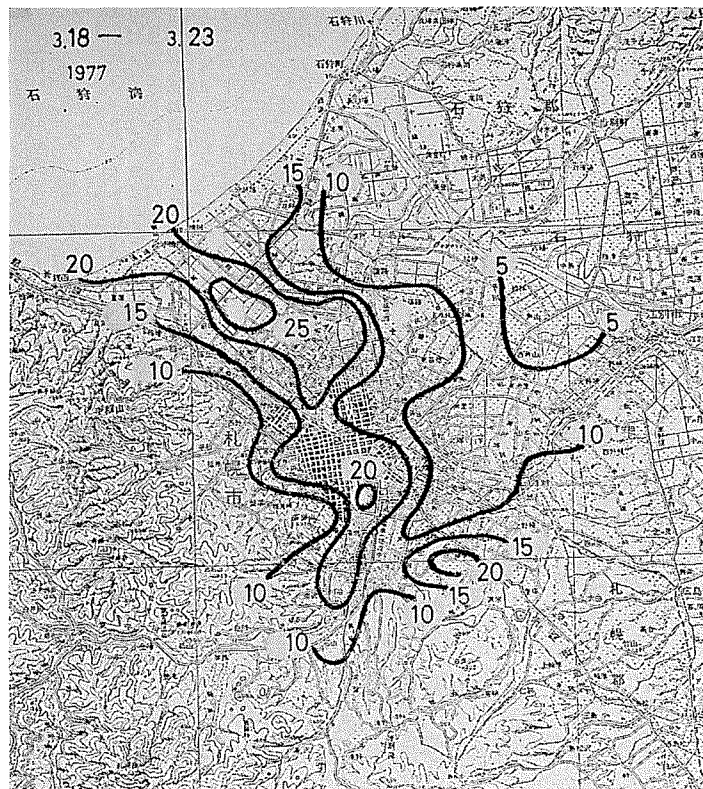
数字は 3/10～3/18 の間の雪面低下量 (cm)

区域 (平均 5.6 cm/day) がみられ、また最小値は都心南の沢沿いの区域 (平均 3.1 cm/day) でその差は日平均値として 2.5 cm であった。第 3 図においては最大値が都心の北西部 (5.0 cm/day) にみられ、最小は北東部 (1.0 cm/day) となっており、その差は 4.0 cm/day と第 2 図の 2 倍近い値を示し不均一の度合いが大きいことを示している。

第 4 図と第 5 図は 1978 年における融雪水量の分布を示したものである。融雪水量は巡回観測点においては実際に測点した値であるが、委託観測点における値は雪面低下量に全積雪層平均密度 (巡回観測点における全ての測定値を平均した値) を乗じて得られた値である。

この全層平均密度は地域的に余り差がみられなかった。第 6 図は最大積雪深時における巡回観測点 20 地点の積雪深と積雪水量の関係を示したもので、平均密度 $\bar{\rho}=0.33 \text{ g/cm}^3$ と求められた。尚、標準偏差は 0.03 である。このように委託観測点をとりかこんだ巡回観測点の平均密度がほぼ同じであることから、融雪水量の見積りにこの平均密度を用いたわけである。

第 4 図の 3 月 16 日～22 日における融雪水量分布では都心に近い南西の区域に融雪水量の最大値がみられ、北東部ほど少なくなっている。同時に示した円グラフは積雪表面の汚れを表わしたものである。これは前述の濾紙の透過光の割合を示したもので、白い部分の面積の大、小が雪面のアルベドの大小に対応しているものと見なすことができる。この図において白い部分の小さい所が融雪水量の多い区域となっている傾向にあるが、融雪水量の分布とは必ずしも



第 3 図 融雪量分布図

数字は 3/18～3/23 の間の雪面低下量 (cm)

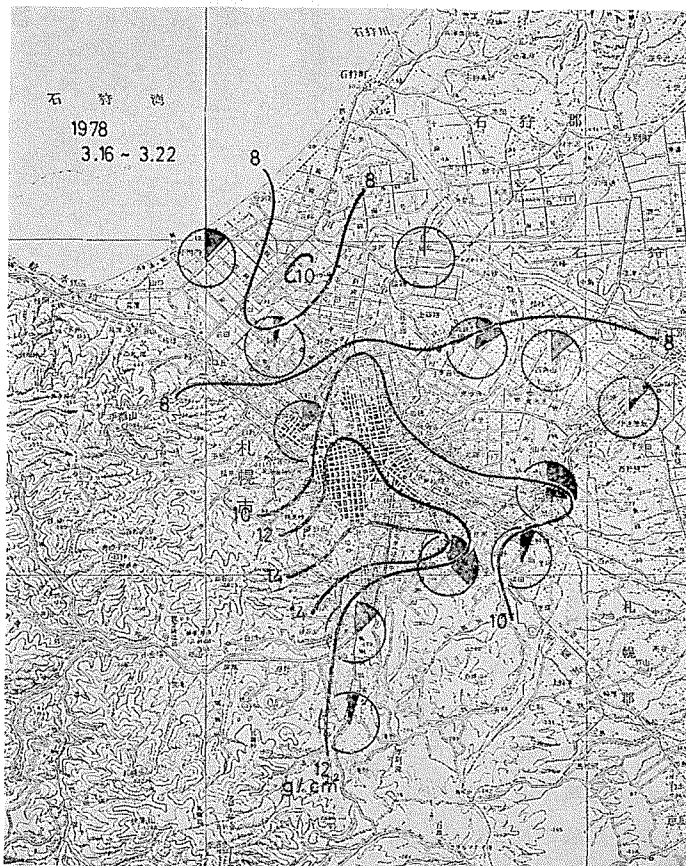
一致はしていない。すなわちこの融雪水量の不均一な分布は積雪表面のアルベドによって一義的に決められるものではないことを示している。第5図においてこのことはさらに明らかとなる。この図において円グラフの白い部分は全体的に、ほぼ3/4前後で同じ程度の値であるが融雪水量は第4図とは逆に都心の北西部ほど段々に多くなっている。

このような融雪量の不均一さは都市気候の現象によるものと考えられ、気象観測の結果に関して考察を行なった。

3. 気象観測の結果

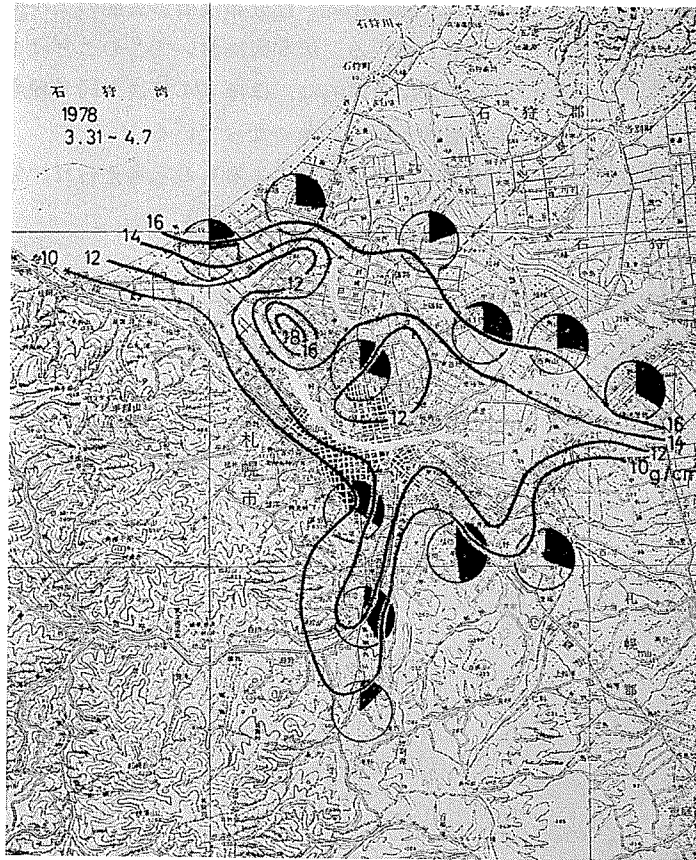
第7図は気温の移動観測の結果である。観測は1977年3月10日、14日、23日、28日の4回でいずれも積雪があり、第2図、3図の融雪観測期間を含んでいる。これらの観測時の風向と風速を第8図に示す。

風向は3月28日のESEからNNWに変わったほかは観測時間中ほとんど大きな変動はみられず、安定した状態であった。気温の観測はそれぞれの測点で時刻のちがいががあるので、この図では第1図a点の気温との差を示している。観測は10時～16時の間に行なわれこの間a



第4図 融雪水量分布図

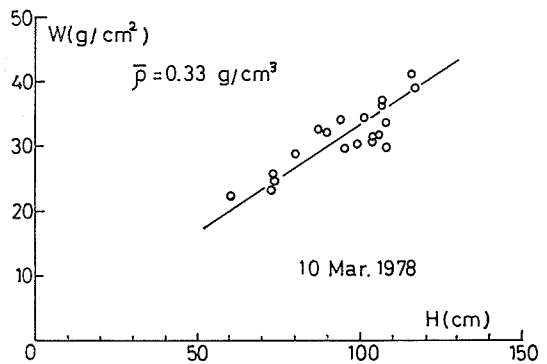
円グラフは3/16の積雪表面より採取した試料による雪面の汚れの度合いを示す



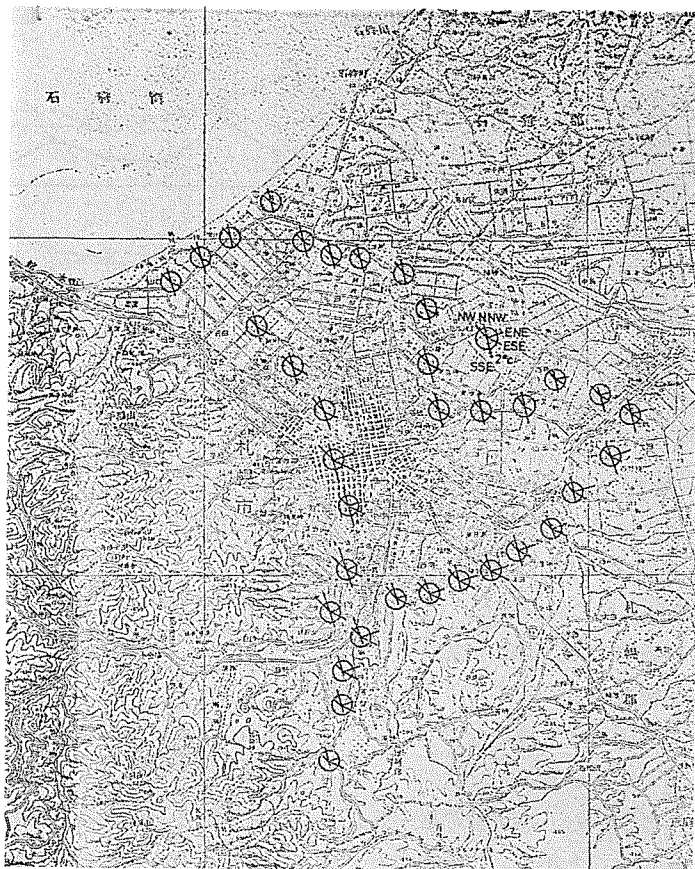
第5図 融雪水量分布図

円グラフは3/31の積雪表面より採取した試料による雪面の汚れの度合いを示す

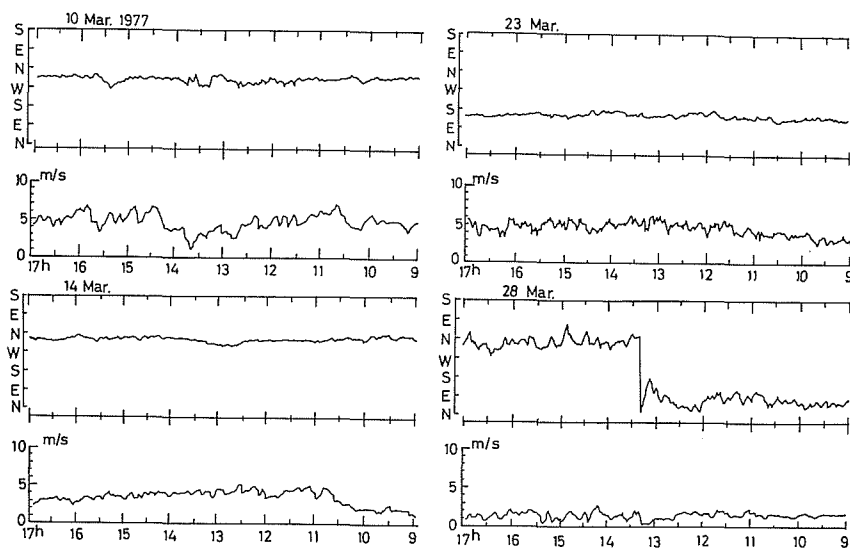
点における気温の記録には急変がみられなかったので気温差は補正をせずに第7図に示した。またこの図にはa点における風向を円の中心へ向う線で同時に示している。つまり気温差は円周上を原点として風向を示す線の円周外の線分の長さが気温の高い分を示し、円周内では半径の距離との差の分だけその地点の気温が低いことを示している。尚、半径の長さが2°Cに相当している。この図から明らかなように、北寄りの風向時においては都心の南に気温の高い区域がみられ逆に南の風向では低い気温が観測されている。都心の北部は風向に対して上述の逆の傾向がみられる。また都心部はいずれの風向においてもa点より気温は高くなっている。移



第6図 巡回観測による積雪深と積雪水量の関係。平均密度0.33 g/cm³



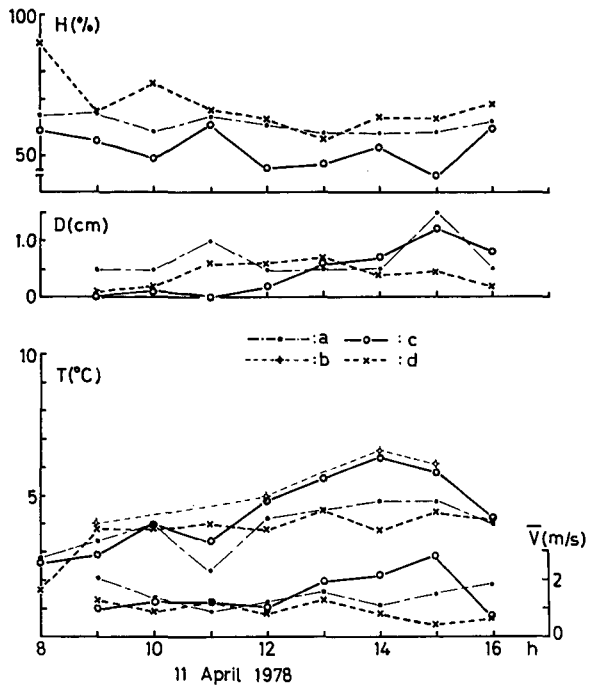
第7図 巡回観測によるa点(第1図)との気温差と風向。
円の半径の長さが 2°C にあたる



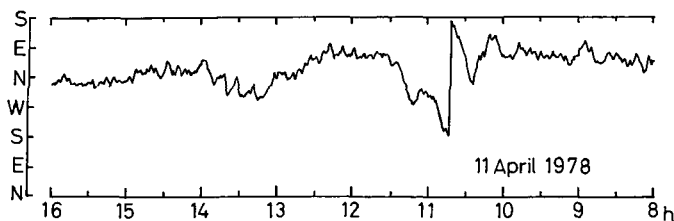
第8図 第7図に示した巡回観測時の風向と風速(a点における)

動観測ではその地点の時間的変化を知ることができないので、三地点において定点気象観測を行なった。その結果を第9図に示す。観測点 a, b, c, d はそれぞれ第1図に示した地点に対応する。a および b 点は都市域内の気象観測点であり c は都心南の郊外に位置する観測点、d は北の郊外の観測点である。観測は 8h~16h の間毎正時に風向、風速 (V)、気温 (T) 湿度 (H) および雪面低下量 (D) を測定した。また積雪表面層 (10 cm 深まで) の平均密度の測定をそれぞれ行ない、a 点では 0.44 g/cm^3 c 点では 0.42 g/cm^3 、d 点では 0.44 g/cm^3 とほぼ同程度の値を得た。すなわち三点の融雪量は雪面低下量 (D) により直接比較をすることができる。c 点における融雪量は午後になるに従って多くなっているが d 点ではこ

の傾向が全くみられず、むしろ午前の融雪量が多くなっている。このことは気温および風速の値によく対応していることが T , V に関するグラフからわかる。気温の変動は第7図と同じように風向との関係がみられる。すなわち第10図に示した点 a の風向の観測では、8時~12時は東寄りの風向であったが、12時~16時では北寄りの風となっている。都心の南に位置している c 点における午後の昇温はこの風向の効果によるものと考えられ、他の d 点における結果も含めて第7図において示した傾向と一致するものであった。



第9図 同時気象観測の結果。上段より湿度 ($H\%$) 雪面低下量 (D cm) 気温 ($T^{\circ}\text{C}$) 風速 (\bar{V} m/s) 観測は雪面上 1 m 高。a~d は第1図の記号地点に対応

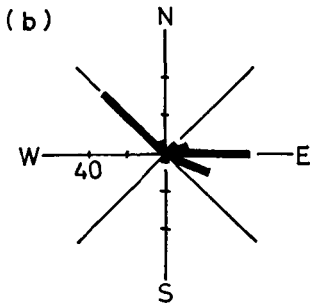
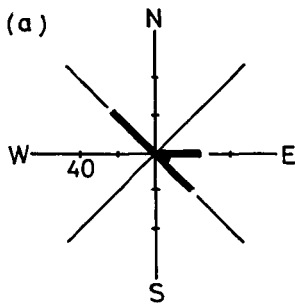


第10図 同時気象観測時の a 点における風向

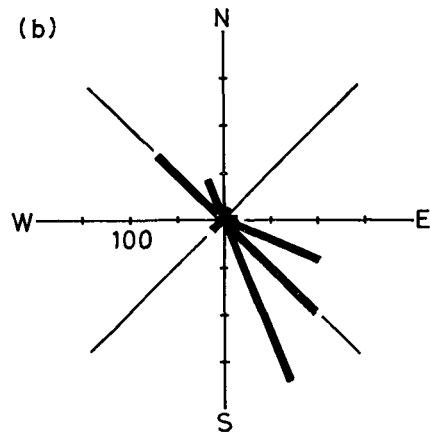
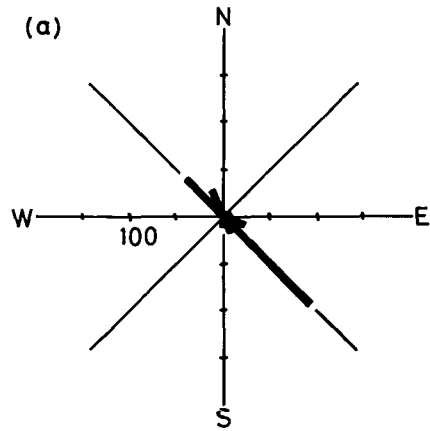
すなわち、融雪量分布と風向との関連が考えられる。第2図、第3図の融雪量分布図とこの時の風向、風速を示した第8図から、明らかに都心の風下側に融雪量の最大区域が存在している。つまり3月10日、18日は平均 $3\sim 5 \text{ m/sec}$ の北西風が、18日以降は南寄りの風が多く、23日には $5\sim 6 \text{ m/sec}$ の南西風が観測され、それぞれ都心の南東部、北西部に融雪量の最も多い区域がみられる。

第11図に示した、融雪面の顕熱伝達量に関する指標としての⁸⁾、[気温(T)] \times [風速(V)]の風向分布図は、第4図の融雪期間の定時(3, 6, 9, 12, 15, 18, 23, 24時)の気象資料に基いて得られたものであり、図のa, bは第1図の地点にそれぞれ対応している。すなわち、a, b点いずれも北西と東方向の $\Sigma T \cdot V$ が卓越していて、都市の南～西部が山地となっていることから、都心に近い南に融雪量の最大区域がみられる(第4図)こと、そして同じように第5図の融雪期間に対応する第12図の $\Sigma T \cdot V$ に関する風向分布図では、a, b点とも南東方向が卓越しており、その期間の融雪量分布は都心の北に最大値がみられることは、前述の都市における融雪量分布と風向との関連を一層明らかに示すものである。

また、都心域が郊外に比較して気温が高いにもかかわらず融雪量が多くない理由は、建造物などにより風速が弱められているためであると考えられる。



第11図 $\Sigma T \cdot V$ の風向分布
 T : 気温 $^{\circ}\text{C}$, V : 風速 m/s
 (a), (b)は第1図の同記号の地点
 T , V ともその日の03, 06, 09,
 12, 15, 18, 21, 24 h の10分間平
 均值
 図の値の単位は $^{\circ}\text{C} \cdot \text{m/sec}$.



第12図 $\Sigma T \cdot V$ の風向分布
 T : 気温 $^{\circ}\text{C}$, V : 風速 m/s
 (a), (b)は第1図の同記号の地点 以
 下第11図と同じ

以上のような融雪特性は、都心部の高温域が風向の影響により風下に移動する現象⁹⁾や、湿雪上を吹送し都市域に吹き込む風による影響¹⁰⁾など、都市の接地気層の特性を示しているものと考えられる。すなわち、このことは都市気候の特徴として都心部の高温域（ヒートアイランド）に関連した都市独特の熱移動に関する現象であると推察される。

III. 考 察

融雪期における雪面の熱収支は都市及び郊外における融雪熱量をそれぞれ $Q_{M,u}$, $Q_{M,r}$, 放射収支熱量を $Q_{R,u}$, $Q_{R,r}$, 接地気層からの顕熱伝達量を $Q_{S,u}$, $Q_{S,r}$, 蒸発(凝結)潜熱量を $Q_{L,u}$, $Q_{L,r}$ とすれば

$$\text{都市; } Q_{M,u} = Q_{R,u} + Q_{S,u} + Q_{L,u}$$

$$\text{郊外; } Q_{M,r} = Q_{R,r} + Q_{S,r} + Q_{L,r}$$

ところで放射収支熱量 Q_R は、日射量を q , アルベドを α , 長波長放射収支熱量を L_n とすれば,

$$Q_R = (1-\alpha)q + L_n$$

と表わされる。もし Q_R を1日当りの長時間積算値とした場合,

$$Q_R = bq - a \quad b = f(\alpha)$$

という簡単な経験式で表わされることが知られている¹¹⁾。ここで a は主に長波長放射に関する定数で、 b はアルベド(α)のみに関係する定数である。

これらのことから

$$Q_{R,u} = b_u q_u - a$$

$$Q_{R,r} = b_r q_r - a$$

b_u : 都市の雪面に関する定数

q_u : 都市の雪面における日射量

b_r : 郊外の雪面に関する定数

q_r : 郊外の雪面における日射量

a : 都市・郊外とも共通の定数

となり、都市と郊外との放射収支熱量に差があるとすれば、それは雪面のアルベド α と日射量 q によることになる。

ここで第1表に、第1図のa点で測定された日射量(q_u)とe点での日射量(q_r)とを示す。この表から平均として $q_u = 0.9 \cdot q_r$ という関係が得られ、都市では郊外に比べ日射量が10%程度減衰されていることを示している。尚e点はa点よりも約50m標高の高い地点である。今回の融雪観測の地点は、その位置の状況から日射量の最大差はこのaとeとの値を上まわることはないと判断されるので $q_u \sim q_r$ とみなし、積雪面のアルベドが都市、郊外ともほぼ同じ値であると仮定すれば(第5図の場合は円グラフの値から、この仮定が余り事実とくい違ってないものと考えられる)

第 1 表 (1978 年 3 月, 4 月)

日	a (ly/day)	b (ly/day)	a/b	日	a (ly/day)	b (ly/day)	a/b
3/16	406	405	1.00	3/31	324	377	0.86
17	348	383	0.91	4/ 1	286	378	0.76
18	423	514	0.82	2	443	426	1.04
19	652	444	1.47	3	348	405	0.86
20	318	435	0.73	4	462	559	0.83
21	393	512	0.77	5	307	424	0.72
22	279	329	0.85	6	361	358	1.01
				7	189	274	0.69
計	2,818	3,022	0.93	計	2,720	3,201	0.85

$$Q_{R,u} \sim Q_{R,r}$$

となる。

顕熱に関しては、都市の人工熱や建造物による発熱量があるとすれば、その分だけ郊外よりも多いものと考えて

$$Q_{S,u} = Q_{S,r} + \Delta Q_S$$

とする。

以上のことから、都市と郊外との融雪量の差は

$$Q_{M,u} - Q_{M,r} = \Delta Q_S + (Q_{L,u} - Q_{L,r})$$

となる。

さらに、潜熱は雪面状態が等しいので、それぞれの地点の気温と相対湿度及び風速に関係した値である。第 2 表に示した a, e 点における日平均湿度では最大 10% 程度の差であり、郊外の方が大きい傾向にある¹²⁾。

また気温の差は第 7 図と第 9 図より最大 3°C のちがいがみられる位であり、風速は風向にもよるが郊外の方が大きい値を示すことが一般に考えられるけれども、今回の観測では第 9 図に示した限りにおいて平均 1.4 m/sec で弱風下ではあったが余り大きな差はみられなかった。

これらのことから

$$\Delta Q_S \gg |Q_{L,u} - Q_{L,r}|$$

とみなして結局、

$$Q_{M,u} - Q_{M,r} \approx \Delta Q_S$$

第 2 表 (1978 年)

		a 点			
日	時	3/31	4/1	4/3	4/5
	03	70%	91%	74%	83%
	06	100	75	67	66
	09	80	68	65	68
	12	80	89	53	69
	15	86	79	65	65
	18	94	92	62	77
	21	86	80	69	83
	24	60	70	85	84
a 点平均		82	81	68	74
e 点平均		81	83	78	77
$H_e - H_a$		-1	2	10	3

となる。このことは、都市と郊外とにおける融雪量の差は都市域の発熱量に依るということになるが、今回の観測では郊外の方が融雪量の多い区域がみられ、 $4Q_s$ の移動を考慮しなければならないであろう。

さて、第4図、5図における融雪量の不均一が $4Q_s$ のみに依るものとして、その熱量を見積ってみよう。第4図において都市の影響のない風下側の郊外における融雪水量を 8 g/cm^2 (分布図において最も少ない融雪水量の値)として、この値と観測点全域との融雪量の差および第4図を利用してその分布面積から計算をした結果、3月16日～22日では 3.06 ly/h の値が得られた。また第5図から同じようにしてその熱量を見積ると $4Q_s=3.57\text{ ly/h}$ となった。これらの値は札幌における住宅地に関する人工発熱量⁶⁾に比べて3倍以上も大きい。また、 $4Q_s$ には建造物の日射吸収や車両その他の排熱に関係した熱量が含まれるので、このような大きな値を示しているものと考えられる。しかし、融雪量分布から見積った熱量には特に雪面のアルベドに関する吟味がなされていないので、第4図の場合には $4Q_s$ の値を実際よりも多く見積っていることも考えられる。

IV. ま と め

1977年、78年の融雪期(3月～4月)に札幌における融雪量の観測を行ない都市における融雪量の分布とその特性を知ることができた。都市における融雪は地域によってその差が大きく7日間で約2倍の違いが生じることもあり、また都心部よりも郊外にその最大値が観測された。この不均一な融雪量の分布は積雪表面の汚れの分布とあまり関係が見られず日射融雪の影響によるものではないと判断された。さらに、この融雪量の最大区域は都心の風下側にみられ、 $\Sigma T \cdot V$ (T : 気温 $^{\circ}\text{C}$, V : 風速 m/s)の風向分布と都市の融雪量分布とはよく対応することがわかった。すなわち、融雪量の分布は都市気候における気温、風向、風速に関連した熱の移動が量的に表現された結果であり、このことはまた都市気候の特徴を示しているといえることができる。このような現象の観測は都市全体が湿雪でおおわれ、全域の表面(雪面)が等温度でまた粗度が一樣になる融雪期においてのみ可能であり都市気候の最も基礎的な形態が観測できるものと考えられる。

今回の2カ年にわたる融雪観測は以下の方々の御協力により完遂することができた。石田完、前野紀一、小林俊一、植松泰子、水野悠紀子、熊尾真喜子、秋田谷英次、成田英器、山田知充、小島賢治、小林大二、桧森政治、新堀邦夫各氏(北大低温研)、桑原蔚氏(北大薬学部)、田中夕美子氏(北大農学部)、志尾弥氏(北教大)、久保田裕士、武田一夫、西村寛、児玉裕二、金田安弘、深見浩司氏(北大大学院)、瀬戸武氏(札幌市東区)、梅原勲氏(札幌市豊平区)、また札幌管区气象台、農林省農業試験場、北海道林木育種場(江別市)、北海道酪農大学、丘珠飛行場、手稲山ロープウェイ、札幌交通局藻岩山ロープウェイからは気象資料の提供をうけた。

本論文の推稿にあたり小島賢治教授から有益な助言をうけた。

ここに併記して深く感謝の意を表します。尚、この研究に要した費用の一部は文部省科学研究費(自然災害科学)補助金によってまかなわれた。

文 献

- 1) 小島賢治・小林大二・小林俊一・油川英明・石川信敬 1970 母子里の小流域における融雪, 流出, および熱収支の研究 I. 低温科学, 物理篇, **28**, 175-190.
- 2) 小島賢治・小林大二・油川英明・成瀬廉二・石本敬志・石川信敬・高橋修平 1971 母子里の小流域における融雪流出, および熱収支の研究 II. 低温科学, 物理篇, **29**, 159-176.
- 3) 小島賢治・小林大二・油川英明・石川信敬・高橋修平・石本敬志・藤井俊茂・坂本洋和 1972 盆地周辺の小流域における融雪量の高度差について一付: 盆地上空の気温垂直分布一. 低温科学, 物理篇, **30**, 216-219.
- 4) 小島賢治・小林大二・油川英明・石本敬志・高橋修平・藤井俊茂 1973 母子里の小流域における融雪, 流出, および熱収支の研究 III. 低温科学, 物理篇, **31**, 159-177.
- 5) 小島賢治・小林大二・油川英明・石川信敬 1977 北海道母子里の小流域における積雪量および融雪量の分布. 第14回自然災害科学総合シンポジウム論文集, 189-192.
- 6) 石川信敬・油川英明・成瀬廉二 1978 札幌市における放射冷却日の最低気温分布. 低温科学, 物理篇, **36**, 121-137.
- 7) 油川英明・深見浩司 1978 簡易アルベドメーターの試作. 低温科学, 物理篇, **37**, 171-174.
- 8) 成瀬廉二・大浦浩文・小島賢治 1970 気温融雪の野外研究. 低温科学, 物理篇, **28**, 191-202.
- 9) Marshall, A. Atwater 1975 Thermal changes induced by urbanization and pollutants. *J. Appl. Meteorol.*, **14**, 1061-1071.
- 10) T. R. Oke and C. E. East 1970 The urban boundary layer in Montreal. *Bound. Layer Meteorol.*, **1**, 411-437.
- 11) Davies, J. A. 1967 A note on the relationship between net radiation and solar radiation. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, **93**, 109-115.
- 12) K. D. Hage 1975 Urban-rural humidity differences. *J. Appl. Meteorol.*, **14**, 1277-1283.

Summary

In connection with a study of urban climatological properties related to snow melting, observations were made in Sapporo city of areal differences in snow-melting rate between urban and rural areas varying in meteorological conditions for periods from 10 to 23 March 1977 and from 16 March to 7 April 1978.

Snow-melting rates were observed by measurements of snow stakes at 20 sites (the work of measuring being consigned to others), the locations of which are shown by solid circles in the map of Fig. 1, as well as automobile surveys at 20 to 40 sites surrounding the urban area, the route of which is shown by a solid line in the same figure.

Meteorological data provided are based on readings at sites a (Hokkaido University), b (Meteorological Observatory) and e (Agricultural Experimental Station) in the same figure.

Measurements of air temperature and amount of dust on the snow surface that reduces surface albedo were made by the same automobile surveys. Instantaneous observations of air temperature, relative humidity, wind speed, wind direction and snow-melting rate were made every hour during the day at three sites a, c, and d in the same figure, which represent respectively the urban, the south rural and the north rural area. It was distinctly shown from the observations that the snow-melting rate in rural areas which were on the leeward of the city was usually greater than that in the urban area, and that the minimum rate was in rural areas which were located on the windward of the city. The snow-melting rate in the city had an inclination of being distributed by the wind direction, because the heat originating from energy released from the combustion in the urban area was carried to the leeward

rural areas by the wind (see Figs. 4 and 5, relating to Figs. 11 and 12).

These observations of heat exchange in the urban environment were achieved only in the snow-melting season, when the surface of the urban and rural areas was covered by melting snow, because the temperature of the snow surface was always kept constant (0°C) and the surface was smooth and preserved a stable boundary layer.