

## 2. 地上の降水の型と気象要素との関係に関する解析

地上で観測される降水の型（雪，霰，雨）が必ずしも気温だけの影響で変化しない現象があることは，すでに述べたとおりである。この章では，地上の降水の型と気象要素との関係を解析により調べ，雪片の融解に影響を与える気温以外の因子等，大気中における雪片の融解現象に関する問題点を提起する。

### 2.1 解析に用いた地点と期間

解析資料としては，輪島，松本，日光の各測候所（図1）の冬期の地上気象観測日原簿を使用した。各々の測候所の地域特性を下に示す。

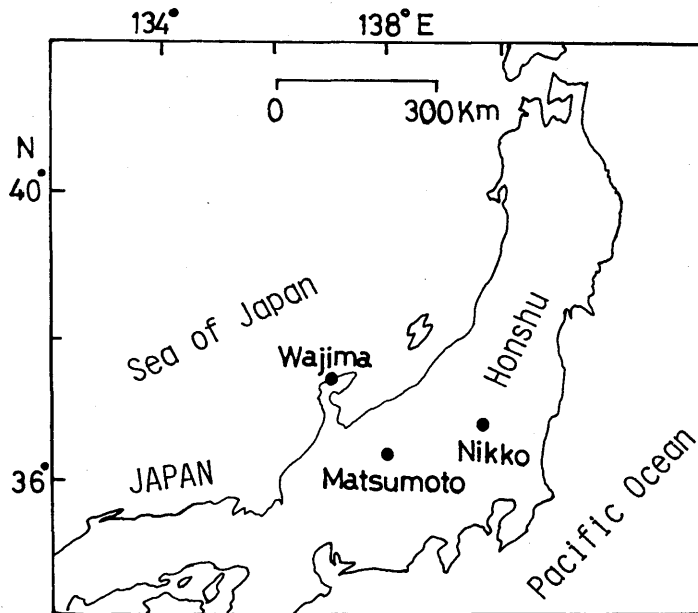


図1 Map showing the location of three Weather Stations used in analyses (Wajima, Matsumoto, and Nikko).

地点	位置	海拔高度
輪島	日本海沿岸地域	5 m
松本	沿岸より内陸へ90 km	610 m
日光	沿岸より内陸へ120 km	1,292 m

測候所では、正時に一般気象観測が行なわれている。気象要素の多くは有線式自動気象計によって測定されているが、降水の型の判定は目視によって行なわれている。

冬のモンスーンの時期には、日本列島は大陸からの冷たい気団に被われる。この時期には、一般的に日本海沿岸で降雪量が多く、沿岸から内陸へ入るにつれて少なくなり、日本アルプスを境にして、太平洋側の地域での降雪は極めて少ない。降雪量に地域特性があるように、降雪中の雪片の性質もまた地域によって異なると考えられる。雪片の性質（たとえば、粒径や密度）がもし雪片の融解速度に影響を与えるならば、降水の型が地域によっても変化することは充分考えられる。地域の特性が異なる3地点を選ぶことにより、この影響を調べることができる。解析を行なった期間は、輪島が1月～3月（1975年～1978年）、松本が10月～5月（1970年～1977年）、日光が10月～5月（1963年～1978年）である。

## 2.2 降水の型と気温および相対湿度との関係

まず、地上で降水があった時の解析地点上空の気温と相対湿度の高度分布を調べる。解析の3地点の中で、輪島では高層気象観測が行なわれているが、松本と日光では行なわれていない。輪島における降水時の気温と相対湿度の高度分布を、地上で降水が観測された時の高層データを使用して調べる。

解析では、気温減率を地上気温と0℃高度を用いて表わし、相対湿度の減率を地上と0℃高度の湿度差で表わすことにする。0℃高度は、地上、1,000mb, 900 mb, 850 mb 高度の気温のデータを用いて、内挿法によって求めた。0℃高度の相対湿度は、0℃高度をはさむ2高度の相対湿度

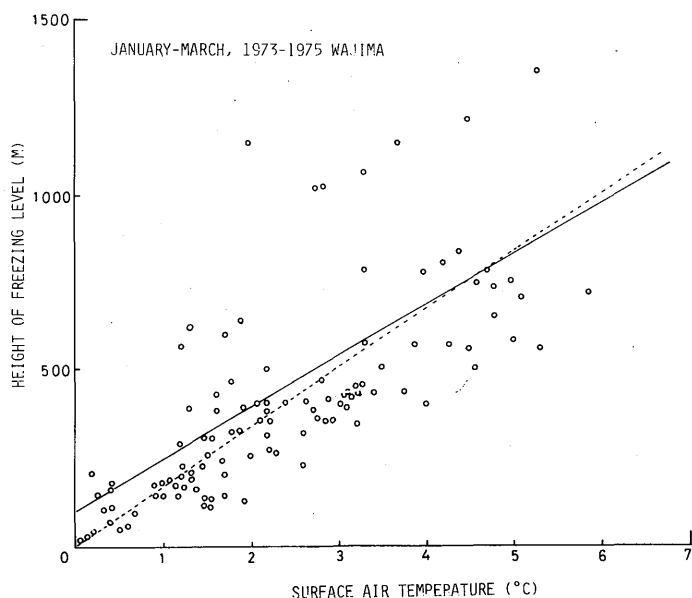


図2 Relationship between the height of freezing level and surface air temperature at the time of precipitation in the cold seasons at Wajima Weather Station.

度から内挿によって求めた。

地上気温と0℃高度の関係を図2に示す。回帰分析によって求めた関係を実線で示すが、 $H_f = 148T + 64$ となる。ここで $H_f$ は0℃高度(m)で、 $T$ は地上気温(℃)である。参考までに、900 mb高度で気温0℃付近の湿潤断熱減率( $6^\circ\text{C}\cdot\text{km}^{-1}$ )を破線で示してある。降水時の輪島上空の気温減率はばらつくが、平均的には湿潤断熱減率に等しくなっている。

図3に、降水時の地上と0℃高度の湿度差の頻度をヒストグラムで示す。地上、あるいは0℃高度の相対湿度が常に高いということはなく、湿度差は±15%以内におさまり、最大頻度は-2.5%となる。地上と0℃高度との間でそれほど大きな湿度差は存在しないといえる。

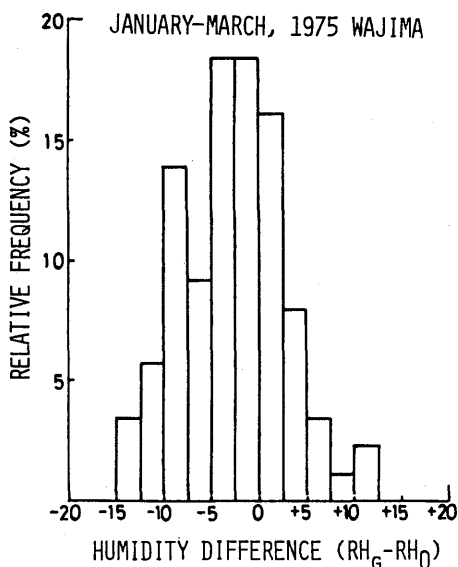
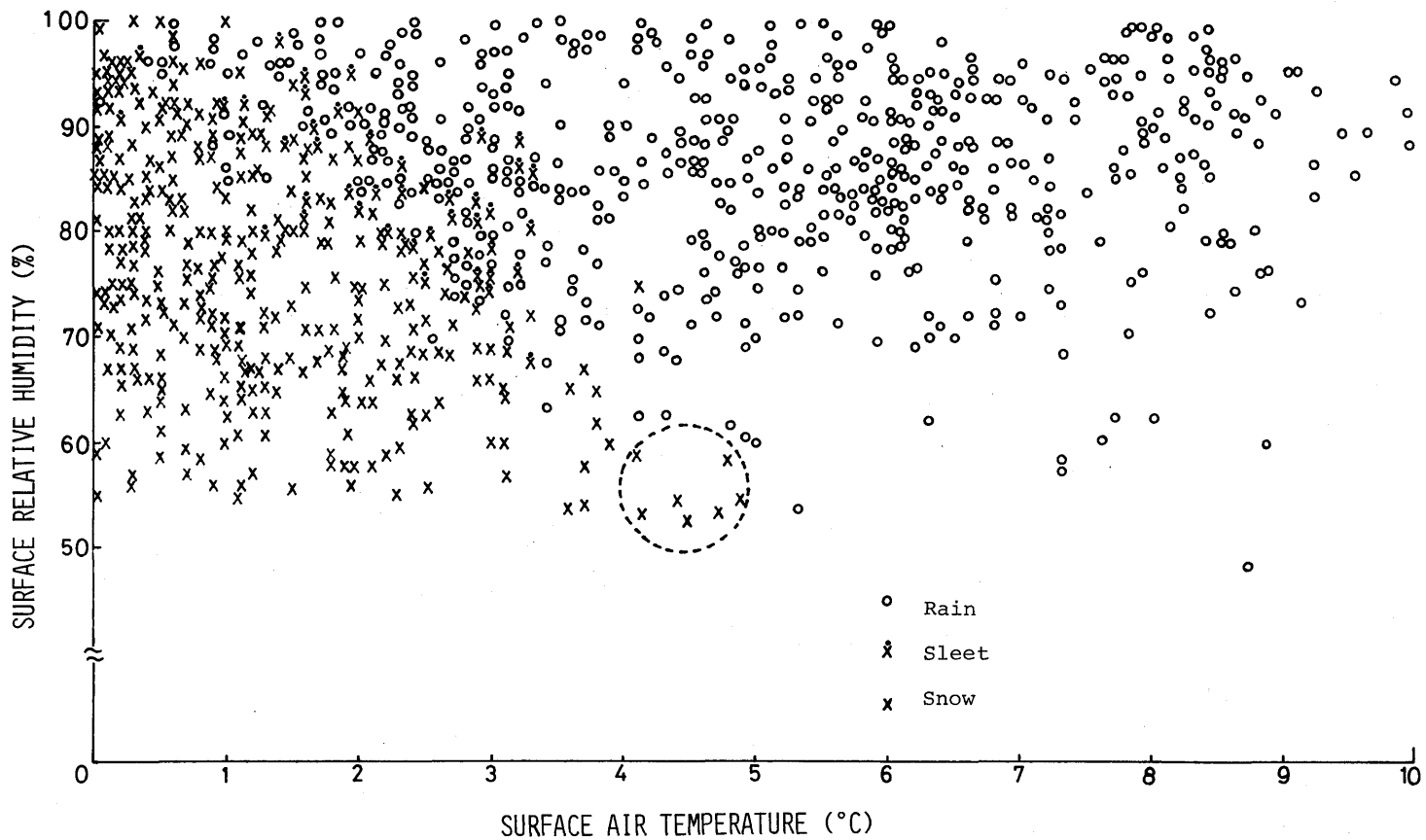


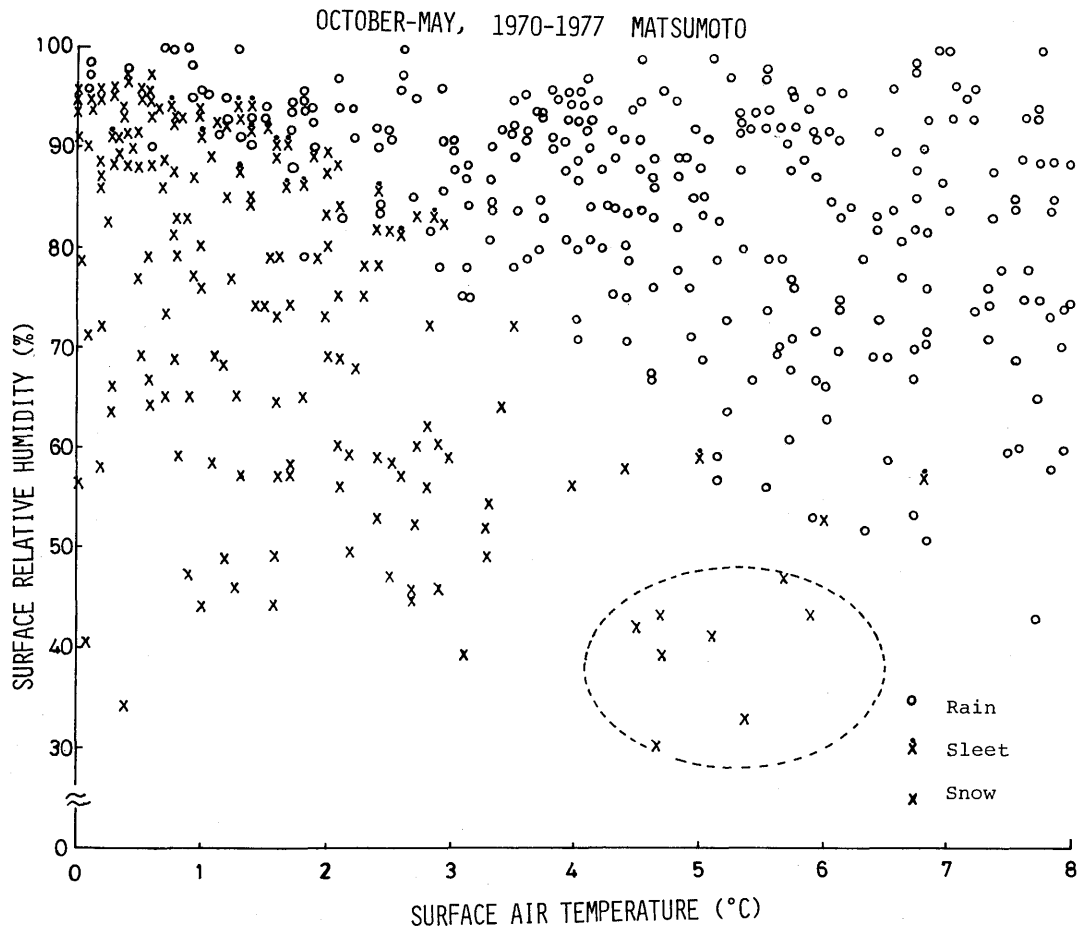
図3 Frequency distribution of humidity difference between the ground and the freezing level ( $RH_g - RH_f$ ) in the presence of precipitation from January to March in 1975 at Wajima Weather Station.

次に、地上の降水の型と地上の気温および相対湿度との関係を調べる。図4(a), (b), (c)に、輪島、松本、日光の地上の降水の型とその時の地上気温と相対湿度の関係を示す。降水は雪(x), 霰(x̄), 雨(○)の3種類であり、霰のデータは含まれていない。いずれの地点でも降水は、地上気温が2.5℃より低いと雪であることが多く、2.5℃より高いと雨であることが多い。このような傾向は、これまでの解析結果(気象庁, 1976)とよく一致している。ここで注目したいのは、降水の型が相対湿度によっても変化することである。2.5℃以上の気温でも相対湿度が低くなると降水は雪である頻度が高くなる。特に高温時に出現した雪を破線で丸く囲ってある。地上気温が4℃以上の高温時の降雪は相対湿度が50%程度かあるいはそれより低い場合にみられる。

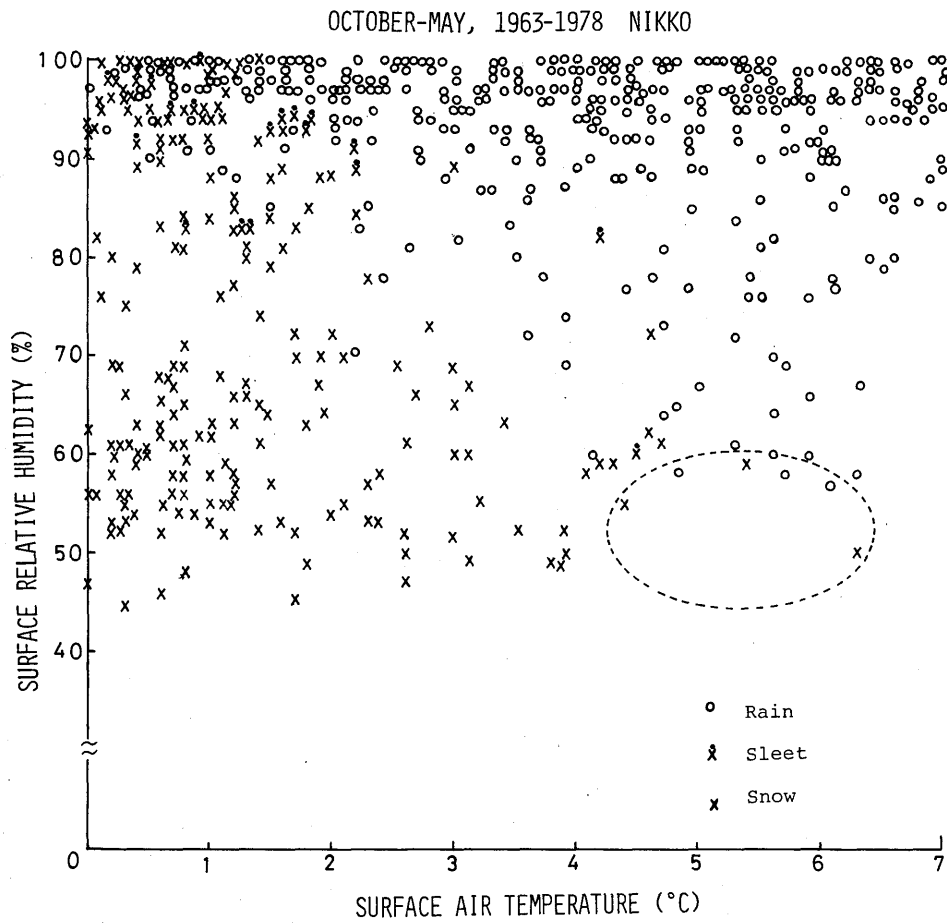
JANUARY-MARCH, 1975-1978 WAJIMA



☒ 4(a) Relationship between the types of precipitation and the corresponding surface air temperatures and relative humidities at Wajima Station. Data were collected in the cold seasons (January - March) from 1975 to 1978.



☒ 4(b) Same as Fig. 4(a) except for Matsumoto Station.



☒ 4(c) Same as Fig. 4(a) except for Nikko Station.

図4に示した資料を基に、雨の相対出現頻度分布を地上の気温と相対湿度を変数として調べた。気温を0.2℃、相対湿度を5%で区切り、各領域で観測された降水の中の雨の相対出現頻度を表1(a), (b), (c)に示す。雨の出現頻度は分数で示され、分母は降水の回数、分子は降雨の回数である。降雨回数は、1回の降水について、雨の場合は1、霰は0.5、雪は0と定義される。各気温についてみると、雨の出現頻度は相対湿度とともに変化している。一般に、気温が示す各々の欄は、雨の出現頻度に関して3つの頻度領域(0, 0~1, 1)にわかれる。表1(a)の輪島の場合を例にとって説明する。欄の中で、破線は雨の出現頻度が0から0以上に変化する境界の相対湿度を示し、この臨界の相対湿度(RHcri (snow))以下では降水はすべて雪である。実線は、出現頻度が1になる境界の相対湿度であり、この臨界相対湿度(RHcri (rain))以上では降水はすべて雨である。この2つの臨界相対湿度で囲まれる領域は降水が雪から雨へ変化する遷移領域となる。遷移領域は地上気温が高くなると狭くなり、3.6℃以上ではなくなる傾向が見られる。この領域の中では、雪、霰、雨のいずれもが存在するが、相対湿度の増加と共に雨の出現頻度が高くなる。各気温についての破線、実線をそれぞれつなげると、雨の相対出現頻度分布表は、雪の領域、雪・霰・雨が混在する領域、雨の領域の3つの領域にわけられる。

分布表から臨界相対湿度と気温との関係を輪島、日光、松本のそれぞれについて求めた。各欄を代表する気温T(℃)と2つの臨界湿度RHcri(%)との関係を図5(a), (b), (c)に示す。×印は雪の臨界相対湿度、○印は雨の臨界相対湿度である。回帰分析によって得られたRHcriとTの関係を、雪の臨界湿度を破線によって、雨の臨界湿度を実線によって表わしてある。雨の臨界湿度と気温との関係を示す実線が、破線との交点で途切れているのは、高い地上気温では遷移領域がなくなることから考慮したためである。図の中で破線より下の領域では降水はすべて雪であり、実線より上の領域では降水はすべて雨である。破線と実線で囲まれた点刻の領域は、降水が雪から雨にかわる遷移領域である。3地点で得られた関係式を下に示す；

$$\begin{aligned}
 \text{RHcri (snow)} &= -7.5 T + 93 \\
 \text{RHcri (rain)} &= 46 \sqrt{6.2 - T} && \text{輪島} \\
 \\
 \text{RHcri (snow)} &= -7.3 T + 96 \\
 \text{RHcri (rain)} &= 39 \sqrt{7.2 - T} && \text{松本} \\
 \\
 \text{RHcri (snow)} &= -6.2 T + 91 \\
 \text{RHcri (rain)} &= 43 \sqrt{6.8 - T} && \text{日光}
 \end{aligned}$$

ここで、RHcri (snow) とTの関係は1次式で示し、RHcri (rain) とTの関係は2次式で示してあるが、この理由については、4章で述べることにする。

表1(a) Relative occurrence frequency distribution of rain on the ground in the cold seasons from 1975 to 1978 at Wajima Weather Station as a function of surface air temperature and relative humidity. Fractions in classes indicate the relative occurrence frequency of rain in precipitations.

JANUARY-MARCH, 1975-1978 WAJIMA

T (°C) RH (%)	0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1.0	1.0-1.2	1.2-1.4	1.4-1.6	1.6-1.8	1.8-2.0	2.0-2.2	2.2-2.4	2.4-2.6
95-100	0/4	1/5	3/5	3/5	2/3	2/3	3/3	4.5/5	6/6	3.5/4	2/2	4/4	5/5
90-95	1.5/13	0.5/8	0.5/7	0/4	2.5/7	2/10	1.5/4	0/2	6/7	4.5/5	1/2	8/8	4/4
85-90	0/10	0/5	0/6	0/5	2/8	1/6	2/10	0.5/2	2/8	2.5/6	10/12	4/5	5/5
80-85	0/7	0/8	0/6	0/6	0/5	0/2	0/4	0/3	1/5	0.5/4	2.5/6	2.5/5	2/2
75-80	0/5	0/13	0/5	0/4	0/6	0/6	0.5/4	0/3	0/2	0/1	0/2	0/5	3.5/5
70-75	0/12	0/5	0/5	0/6	0/5	0/4	0/4	0/1	0/3	0/1	0/4	0/2	1/5
65-70	0/2	0/9	0/4	0/1	0/3	0/7	0/5	0/5	0/2	0/6	0/1	0/5	0/2
60-65	0/1	0/1	0/6	0/2		0/4	0/7			0/2	0/2	0/1	0/3
55-60	0/2	0/3	0/1	0/2	0/4	0/2	0/1	0/1		0/6	0/1	0/2	0/1
50-55							0/1						

2.6-2.8	2.8-3.0	3.0-3.2	3.2-3.4	3.4-3.6	3.6-3.8	3.8-4.0	4.0-4.2	4.2-4.4	4.4-4.6	4.6-4.8	4.8-5.0	5.0-5.2	5.2-5.4
1/1	4/4	2/2	3/3	4/4	4/4	2/2	4/4	4/4	3/3	2/2	4/4	4/4	2/2
1/1	5/5	6/6	1/1	4/4		1/1	2/2		1/1	3/3	2/2	2/2	2/2
7/7	5.5/6	8/8	6.5/8	1/1		3/3	4/4	3/3	7/7	3/3	6/6	2/2	2/2
2/5	3/4	2.5/3	2.5/3	3/3	3/3	3/3	3/3			3/3	2/2	4/4	5/5
4/7	5/9	3/4	2.5/3	2/2	3/3	2/2	0.5/1	1/1	2/2	4/4	2.5/3	3/3	5/5
2/4	1/2	5/6	1/1	2/2	2/2	2/2	1/1	1/1	2/2	3/3		1/1	2/2
0/2	0/1	1/4	1.5/2	1.5/4		0.5/2	2/2	1/1	1/1		4/4	1/1	
0/1	0/2	0/3	0/1	1/1	0/2	0/2	2/2	1/1			2/3		
		0/1			0/1							0/1	
					0/1		0/2		0.5/1	0/1			1/1



表 1(b) Same as Table 1(a) except for Matsumoto.

OCTOBER-MAY, 1970-1977 MATSUMOTO

T (°C) RH (%)	0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1.0	1.0-1.2	1.2-1.4	1.4-1.6	1.6-1.8	1.8-2.0	2.0-2.2	2.2-2.4	2.4-2.6	2.6-2.8	2.8-3.0
95-100	4/10	0/2	1/5	3/5	3/3	2/2	2/2		3.5/5	1/1	1/1		1/1	3/3	1/1
90-95	2/7	0.5/4	0/4	4.5/8	3/6	2/8	4/9	1.5/6	0.5/1	4/4	1/1	2/2	4/4	1/1	1/1
85-90	0/1	0/5	0/5	0/3	0/3	0/1	0.5/1	0/1	1/1	0.5/3	0/3		0.5/1	1/1	1/1
80-85	0/1	0/1			0/4	0/2	0/1	0/2	0/1		1/3		2/4	0.5/2	1.5/3
75-80	0/3		0/2	0/1	0/2	0/1	0/1	0/1	0/2	1/2	0/1	0/1	0/1		0/1
70-75	0/1	0/1		0/1		0/1		0/2		1/1	0/2	0/1		0/1	
65-70	0/1	0/1	0/1	0/1	0/2		0/2		0/1	1/1	0/2	0/1			
60-65		0/1		0/2		0/1			0/3					0/1	0/1
55-60	0/1	0/1			0/2		0/1				0/2	0/1	0/2	0/1	0/2
50-55								0/1					0/1	0/1	
45-50					0/1		0/2		0/1			0/2		0/1	0/1
40-45	0/1					0/1								0/1	0/1
35-40															
30-35			0/1												

3.0-3.2	3.2-3.4	3.4-3.6	3.6-3.8	3.8-4.0	4.0-4.2	4.2-4.4	4.4-4.6	4.6-4.8	4.8-5.0	5.0-5.2	5.2-5.4	5.4-5.6	5.6-5.8	5.8-6.0	6.0-6.2
		1/1	3/3	1/1	3/3	1/1	2/2	1/1	1/1	1/1	1/1	2/2	2/2	1/1	1/1
2/2	1/1	3/3	5/5	4/4	7/7	1/1	3/3	1/1	1/1	1/1	3/3	3/3	4/4	2/2	2/2
4/4	1/1	1/1	1/1	1/1	4/4	2/2	1/1	3/3	3/3	2/2	1/1	1/1		2/2	1/1
1/1	3/3	1/1	1/1	1/1	3/3	3/3	3/3	1/1	2/2	2/2	1/1		3/3		1/1
1/1			1/1		1/1	2/2	2/2	1/1	2/2	1/1		1/1	2/2		
2/2		0/1			2/2		2/2		2/2		1/1	1/1	2/2	1/1	1/1
		0/1					2/2	2/2	1/1	1/1		1/1	1/1	1/1	1/1
0/1											1/1		1/1		1/1
					0/1				0.5/1	2/2		1/1			
	0/2													1/1	0/1
	0/1												0/1		
							0/1			0/1				0/1	
							0/1								
								0/1				0/1			

表 1(c) Same as Table 1(a) except for Nikko.

OCTOBER-MAY, 1963-1978 NIKKO

T (°C) RH (%)	0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1.0	1.0-1.2	1.2-1.4	1.4-1.6	1.6-1.8	1.8-2.0	2.0-2.2	2.2-2.4	2.4-2.6	2.6-2.8	2.8-3.0	3.0-3.2
95-100	2/6	2/13	7/12	9/14	7.5/11	6.5/11	6/8	6/7	10/10	7/7	7/7	8/8	6/6	7/7	5/6	6/6
90-95	1/5		3/5	0.5/7	2.5/4	1/4		1/2	2/4	1.5/2	4/4	2/3		3/3	2/2	2/2
85-90			0/1			1/2	2/3	0.5/1	0/1	0/2	0/1	1.5/2			1/1	0/1
80-85	0/1	0/1		0/2	1/3	0/1	1/5	1/2	0/2	0.5/1		1/2		1/1		1/1
75-80	0/1	0/1	0/1			0/1	0/1	0/1					1/2			
70-75								0/1	0/2	0/1	1/3				0/1	
65-70		0/3		0/5	0/2	0/1	0/3	0/1		0/1			0/1	0/1	0/1	0/2
60-65	0/1	0/4	0/4	0/4	0/2	0/2	0/1	0/2		0/2		0/1		0/1		0/2
55-60	0/2	0/4	0/1	0/3	0/3	0/5	0/3	0/1			0/1	0/2	0/1			
50-55		0/4	0/1	0/2	0/1	0/2		0/1	0/2		0/1			0/2		0/1
45-50	0/1	0/1		0/1	0/1				0/1					0/1		0/1

3.2-3.4	3.4-3.6	3.6-3.8	3.8-4.0	4.0-4.2	4.2-4.4	4.4-4.6	4.6-4.8	4.8-5.0	5.0-5.2	5.2-5.4	5.4-5.6	5.6-5.8	5.8-6.0	6.0-6.2	6.2-6.4
10/10	5/5	6/6	10/10	9/9	12/12	10/10	8/8	2/2	9/9	9/9	14/14	8/8	9/9	5/5	7/7
1/1	2.5/3	5/5		6/6	2/2	2/2	3/3	3/3	1/1	2/2	1/1	3/3	2/2	7/7	
2/2		2/2	1/1	1/1	2/2	1/1	1/1	2/2	1/1		1/1	1/1	1/1	1/1	1/1
	2/2				1/1		1/1			1/1	1/1	1/1			
		1/1				1/1	1/1	1/1			3/3		1/1	2/2	
		1/1	1/1				1/2			1/1		1/1			
			1/1					1/1	1/1			1/1	1/1		1/1
	0/1			1/1		0.5/1	0.5/3			1/1			2/2	1/1	1/1
0/1				0/1	0/2	0/1		1/1			0/1	1/1			1/1
	0/1		0/1												0/1
			0/3												

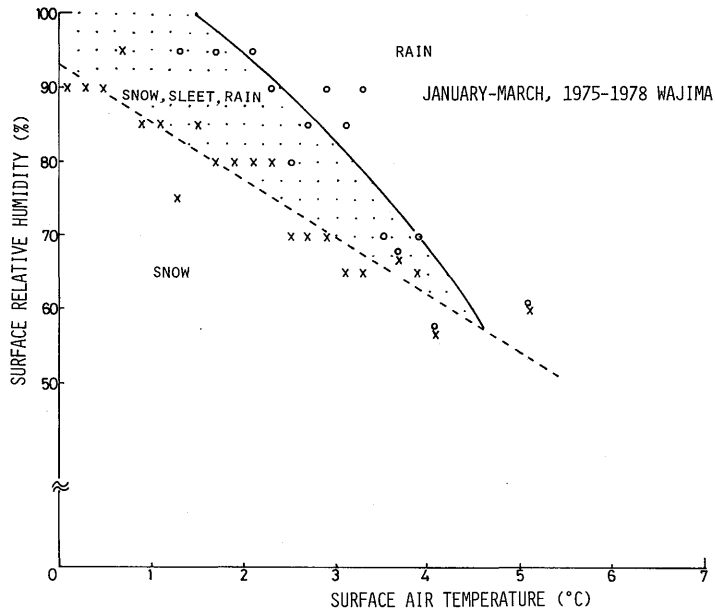


図5(a) Relationship obtained from analyses among precipitation types on the ground, surface air temperature, and surface relative humidity, at Wajima Weather Station. Symbols of crosses and open circles indicate the critical humidities for snow and rain in the column of surface air temperature with a consecutive temperature interval of 0.2°C. The stippled area indicates the transition region from snow to rain. Below the dashed line, precipitation is all snow and above the solid line precipitation is all rain.

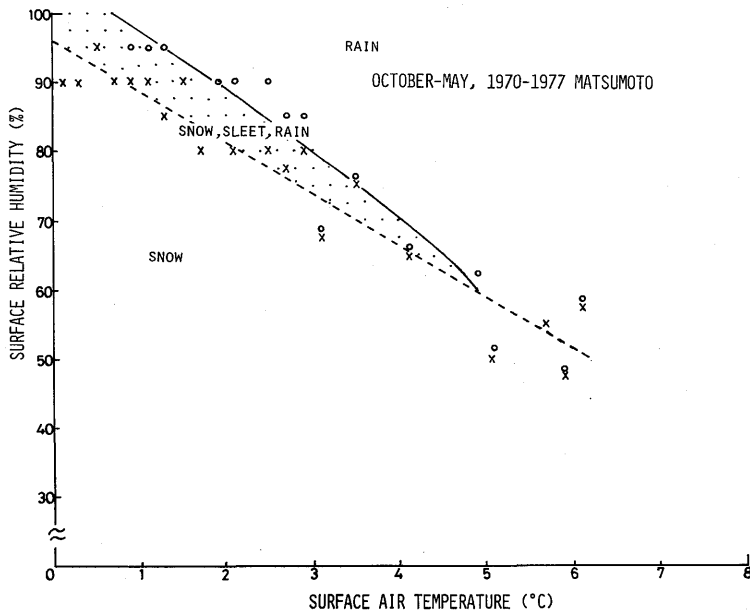


図5(b) Same as Fig. 5(a) except for Matsumoto.

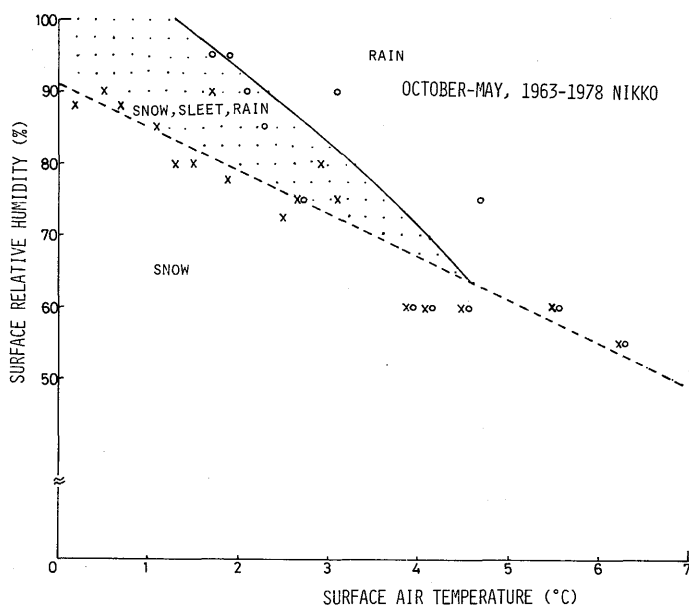


図5(c) Same as Fig. 5(a) except for Nikko.

遷移領域の幅を各相対湿度に対する気温幅で定義すると、領域の幅は相対湿度の減少と共に狭くなり、60%以下ではなくなっている。最大の幅は、いずれの地点も相対湿度が約95%の所で、輪島が2.2℃、日光が1.8℃、松本が1.2℃となる。遷移領域の幅に地域特性がみられる。遷移領域の幅が地点によって異なる原因の一つは、降雪中の雪片の性質が地点によって異なるためと考えられる。

このように、地上の降水の型は地上の気温と相対湿度に依存して変化する。これは大気中における雪片の融解過程が気温と相対湿度に関連して起っていることを示唆している。

### 2.3 雪片の性質が降水の型に与える影響

通常の地上気象観測では、雪片の粒径、密度等の雪片の性質は記録されていない。したがって、観測資料から直接的に、雪片の性質が降水の型に与える影響を調べることはできない。しかし降雪中の雪片の粒径分布は降水強度と密接な関係にあることは、すでによく知られている (Gunn and Marshall, 1958)。一般に、降水強度が強くなると、粒径が大きく密度も大きい雪片が、相対的に降雪中に増加する傾向にあるといわれる。ここでは一つの試みとして、雪片の性質の代わりに降水強度を用いて、雪片の性質の影響を間接的に調べる。

各地点で降水の型と降水強度との関係を調べてみる。結果を図6(a), (b)に示す。(a)は輪島、(b)は松本の例である。日光については、解析に必要な降水強度の資料が充分に得られなかった。降水強度は前1時間の降水量で代表させる。図には、各々の相対湿度における降水の型、地上気温、降水強度の関係が示されている。点刻の領域は、降水が雪から雨へ変わる遷移領域であり、相対湿度が

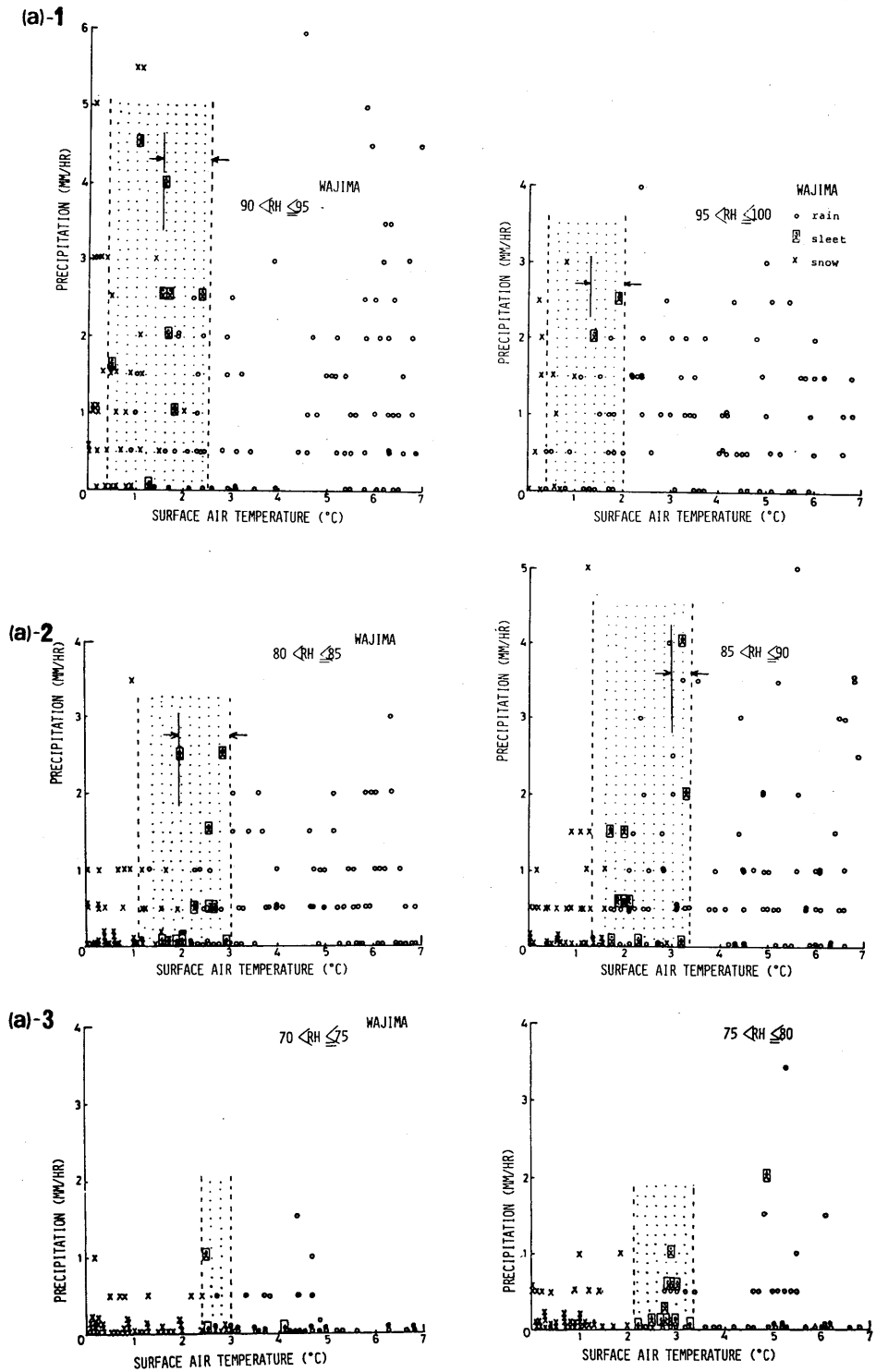


図 6(a) Relationship among precipitation types, hourly precipitation rate, and surface air temperature at Wajima, at a consecutive humidity interval of 5%.

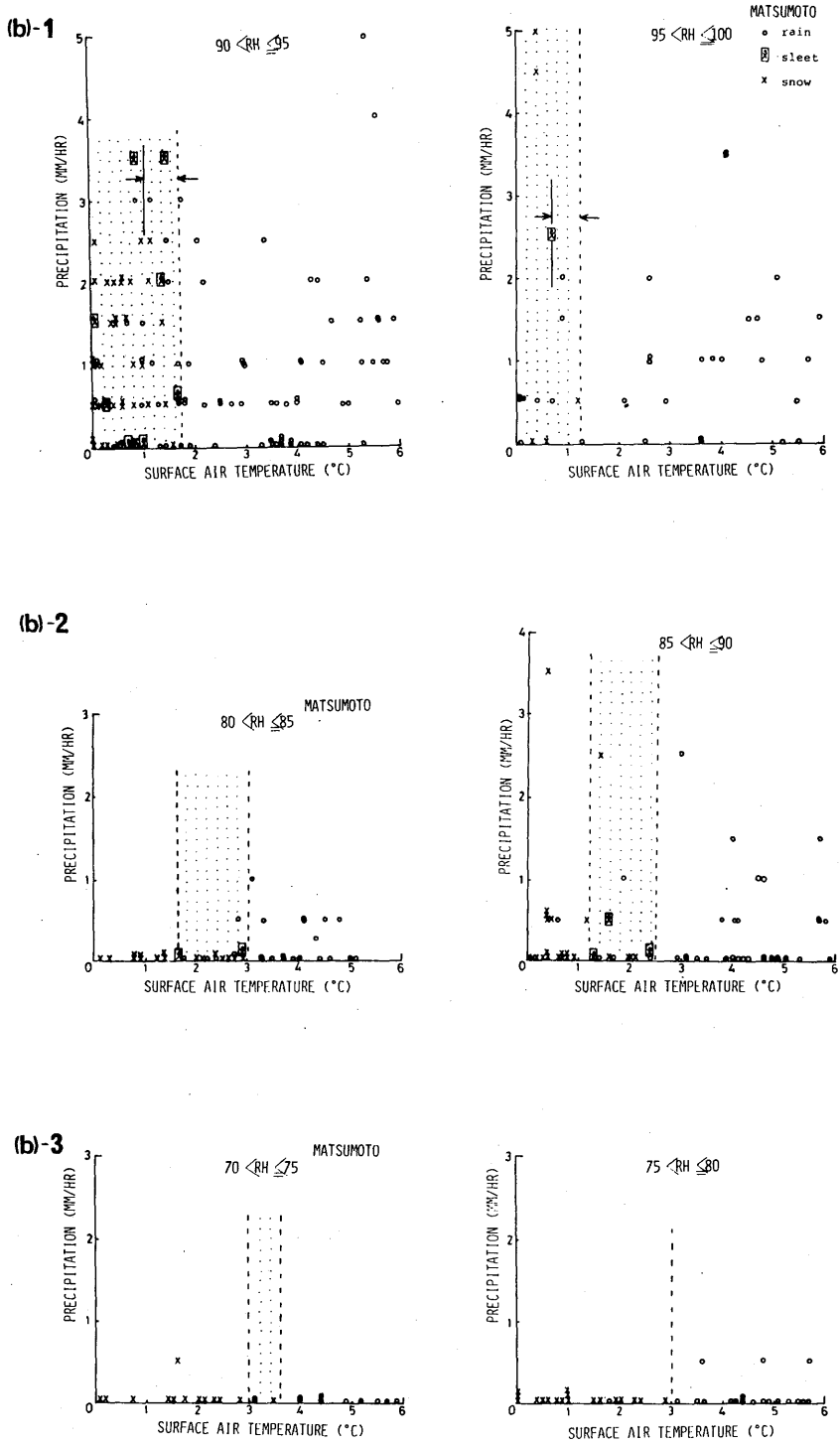


図6(b) Same as Fig. 6(a) except for Matsumoto.

低くなると共に幅が狭くなっている。ここで注目したいのは、遷移領域中に存在する霰である。霰は降水強度が強い時、出現する傾向にあるのがわかる。地上の気温と相対湿度が同じであっても、降水強度が大きいと霰であり、降水強度が小さいと雨である。特に矢印で示された領域で、この傾向が顕著に認められる。

このような関係は、雪片の融解過程が降水強度によっても影響を受けることを示しており、雪片の融解過程が雪片の性質に依存することが示唆される。降水強度が大きいほど、密度の高いまた大きい雪片が多く、これらは融けにくいので霰として観測されたものと解釈できる。

以上述べた解析結果によって、大気中における雪片の融解現象には、気温の他に相対湿度さらには雪片の性質が関与しており、これらの因子が雪片の融解過程に影響を与えていることが示された。