短 報（Short communication）

降水時の気温で配分した雨雪別降水量の算定

竹内 由香里[1)*]、遠藤 八十一[2)]、庭野 昭二[2)]

要 旨

降雪と降雨では気候や自然環境、人の生活に及ぼす影響が大きく異なるため、雨雪別の降水量データは様々な分野で必要性が高い。森林総合研究所十日町試験地では、1922 年～ 1987 年の冬期降水量は、自記降水量計の記録から月ごとに雨雪別降水量を集計していた。これまで雨雪別降水量を集計していない 1988 年以降についても、雨雪別に降水量を求めて長期間のデータを得ることが望ましい。そこで、十日町における降水時の気温と、降水が雪になる降雪頻度の関係を求め、気温により降水量を降雪量と降雨量に配分した。降水の温度は気温より湿球温度に近いが、両者を比較した結果は大差がなかったため、本研究では、気温により降雪頻度を求め、1988 年～ 2016 年冬期の雨雪別降水量を算定した。

キーワード：雨雪別降水量、気温、十日町

1. はじめに

森林総合研究所十日町試験地では 1917 年 3 月に創設されて以来、雪氷災害防止や雪氷学、気象学などの研究の基礎データとするために気象観測が継続されてきて、そのデータは 10 年ごとにとりまとめて公表されてきた (最新の報告は竹内ら 2008)。この中で 1922 年～ 1987 年については、11 月～ 4 月の月ごとの降水量が雨雪別に掲載されている。当初はヘルマン型自記雪量計、その後も自記降水量計の記録紙より、降雨や降雪があった時間の各々の降水量を読み取り、集計されたものである (根津 1948, 森林総合研究所十日町試験地 1990)。しかし、1988 年以降では時間降水量は測定されているが、雨雪別の降水量は求められていない。

降雪と降雨とでは気候や自然環境、人の生活に及ぼす影響が大きく異なるため、雨雪別の降水量データは様々な分野で必要性が高い。しかし、現在においても降水量を雨雪別に観測できる装置は普及していないため、雨雪別の降水量が必要な時には、地上気温により降水を雨雪判別する手法が早くから様々な研究や実用において用いられてきた (太田 1989　小川・野上 1994　井上・横山 1998　水津 2001, 2010　熊倉ら 2004)。降水が雪になるか雨になるかは、降雪粒子が地上に達するまでの熱収支によるので、上空から地上までの気温や湿度などの気象条件を反映すると考えられる。地上気温だけで決まるわけではないが、地上気温 (以下、気温) だけを用いる方法が実用的であるため、気温と降雪発生確率 (以下、降雪頻度) の関係を求めて、降雪量を推定することが多い。一方、降水の温度は気温より湿球温度に近いので、湿球温度を用いて降水を雨雪判別する方法が推奨されてきた (菅谷 1991　近藤 1994　山崎 1998) 。また、長谷美 (1991) は全国の主要な気象官署のデータを解析し、降水が雪である確率 (降雪頻度) と気温との関係は、地域により異なることを示した。

そこで本研究では、十日町試験地において観測した天気に基づいて、降水時の気温と降雪頻度の関係を求め、1988 ～ 2016 年冬期の降水量を雪と雨に配分して月ごとに集計した。また、気温ではなく湿球温度を用いた場合についても降水量を雨雪別に集計し、比較を行なった。目的は、既存の 1922 年～ 1987 年の雨雪別降水量のデータと合わせて過去 95 年間の降雪量の変動を明らかにすること、および、将来、冬期の気温が変動した場合の降雪量の変化を予測する際の基礎データに資することである。なお本報告では、例えば 2015 年 11 月～ 2016 年 4 月の冬期間を 2016 年冬期と記した。

2. 方法

2.1 気象観測

新潟県十日町市にある当試験地 (北緯 37°08′、東経 138°46′、標高 200 m) の露場で観測した気象データを対象として解析を行なった。気象データの項目と観測方法の一覧を Table 1 に示した。天気は毎日 9 時に目視観測し、気温、湿度、降水量は自動の連続観測で 1 時間ごとに記録した。気温および相対湿度は 1988 年～ 2007 年冬期までは、白金測温抵抗体温度計と塩化リチウム露点計を百葉箱に設置して自然通風で測定した。その後、気温は通風筒を使用し強制通風で測定した。相対湿度は、2008 年～ 2012 年は静電容量式センサーを使用し、その後は露点式センサーを使用している。降水量は通常は風除け付の溢水式降水量計を使用したが、故障時には転倒ます型雨量計 (ヒーター付、風除けなし) の測定値を使用し

原稿受付：平成 28 年 8 月 9 日　原稿受理：平成 28 年 10 月 21 日
1) 森林総合研究所十日町試験地
2) 元森林総合研究所十日町試験地
* 森林総合研究所十日町試験地　〒 948-0013 新潟県十日町市川原町 614

Table 1. 気象観測の方法

項 目	方 法	観測時刻
天気	目視観測 (2012年冬期以降は12–3月のみ)	9時
気温	白金測温抵抗体温度計. 高さ 2.4 m (1988–2007年), 4.0 m (2008年～)	毎正時
相対湿度	塩化リチウム露点計. 高さ 2.4 m (1988–2007年), 4.0 m (2012年～) 静電容量式湿度計. 高さ 4.0 m (2008–2011年)	毎正時
降水量	溢水式降水量計 (受水口の高さ3.5 m) 転倒ます型雨量計 (ヒーター付) (受水口の高さ3.9 m)*1	毎正時

*1 2009/11/01～2010/02/10, 2012/01/08～24, 2014年冬期, 2016/02/29～03/03に使用

た。いずれの場合も、本報告では降水量の捕捉率補正は行なっていない。

2.2 降雪頻度および雨雪別降水量の算出

1988 年～ 2016 年冬期の毎日 9 時の気温と天気に基づいて、降水が雪であった頻度 (降雪頻度) を気温 0.1℃ ごとに調べた。この結果に基づいて、降水時の気温と降雪頻度の関係式を求め、1988 年～ 2016 年の 11 月～ 4 月の 1 時間降水量を正時の気温により雪と雨に配分し、雨雪別降水量を月ごとに集計した。比較のため、気温の代わりに湿球温度を用いた場合についても同様に、降水時の湿球温度と降雪頻度の関係式を求めて、1 時間降水量を湿球温度により雪と雨に配分し、雨雪別降水量を月ごとに集計した。湿球温度 t_w (℃) は、Sprung の乾湿計公式 (式 (1)) を逆に解いて求めた。ここで t (℃) は気温、e_{sw} (hPa) は湿球温度 t_w (℃) における飽和水蒸気圧を表わす。水蒸気圧 e (hPa) は、地上気象常用表 (気象庁 1973) に基づいて式 (2) で算出した飽和水蒸気圧 e_s (hPa) に相対湿度観測値を乗じて求めた。気圧 P (hPa) は湿球温度の計算値へほとんど影響しないので、十日町の冬期の平均値に近い 1000 hPa で一定とした。

$$e = e_{sw} - 6.62 \times 10^{-4} (t - t_w) P \quad (1)$$

$$\log_{10} e_s = 10.79574 (1 - T_0/T) - 5.02800 \log_{10} (T/T_0) + 1.50475 \times 10^{-4} \{1 - 10^{-8.2969(T/T_0 - 1)}\} + 0.42873 \times 10^{-3} \{10^{4.76955(1 - T_0/T)} - 1\} + 0.78614 \quad (2)$$

ここで、T_0 は水の三重点の温度 (T_0 = 273.16K) 、T (K) は絶対目盛で表した気温 (T = t + 273.15) である。

3. 結果と考察

1988 月～ 2016 年冬期において 9 時の天気が雪の日は 1122 日、雨の日は 734 日で合わせて 1856 日であった。雪の日の 61 % (680 日) は降水時の気温が氷点下、雨の日の 79% (581 日) は 2.4℃以上であり、雪または雨が観測されて気温が 0.1℃～ 2.3℃であった日は全体の 32% (586 日) であった。降水時の気温と降雪頻度の関係は Fig. 1 の黒丸のようになった。この結果から、気温と降雪頻度の関係を図中の直線のように近似した。すなわち

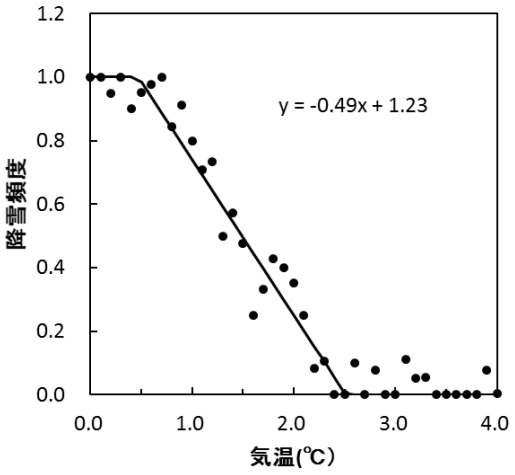

Fig. 1. 気温と降雪頻度の関係

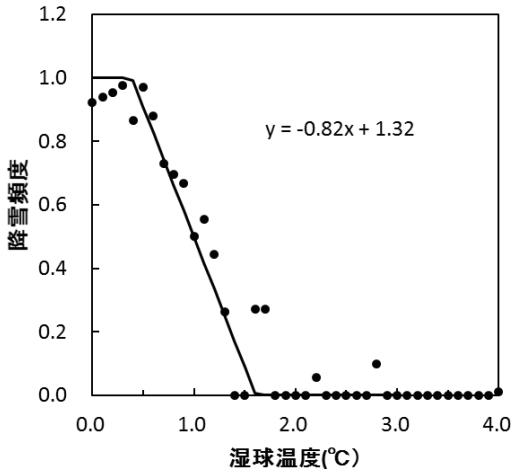

Fig. 2. 湿球温度と降雪頻度の関係

降雪頻度 (y) は、気温が 0.4℃以下では 100%、2.6℃以上では 0% (100% 雨) とし、0.5℃～ 2.5℃では気温 (x) の 1 次式 (y = -0.49x + 1.23) で近似した。降雪頻度が 50% となる気温は 1.5℃となった。同様に、湿球温度と降雪頻度の関係は Fig. 2 に示した。すなわち、0.3℃以下では降雪頻度が 100%、1.7℃以上では 0% であり、0.4℃～ 1.6℃では湿球温度 x の 1 次式 (y = -0.82x + 1.32) で近似した。降雪頻度が 50% となる湿球温度は 1.0℃であった。

湿球温度のデータがある 1991 年冬期以降について、気温と湿球温度それぞれで求めた降雪頻度に従って雨雪配分した結果を、月ごとの降雪量として比較した (Fig.3)。それぞれの方法で求めた冬期降雪量の差は冬期降水量の 2％程度におさまった。降雪頻度が 100% でも 0% でもない限られた温度範囲で降る降水量は冬期降水量に比べるとわずかであるためといえる。

以上の結果から本研究では、湿球温度ではなく気温により降雪頻度を求めて、降水量を雪と雨に配分する方法を採用した。算出した 1988 年～ 2016 年冬期 (11 月～ 4 月) の雨雪別降水量は Table2 のとおりである。今後、このデータを既存の 1922 年～ 1987 年のデータとあわせて、長期に渡る降雪量や冬期降雨量の変動傾向、さらに気温変動との関係を明らかにする予定である。

4. まとめ

十日町試験地で観測した 1988 年以降の冬期降水量を雨雪別に集計し、既存の 1922 年～ 1987 年のデータと合わせて長期にわたる降雪量の変動を知る基礎データに資するため、雨雪別降水量を算定する方法を検討した。十日町試験地において目視観測した天気に基づいて、降水時の気温または湿球温度と、降水が雪になる降雪頻度の関係を各々求めた。降雪頻度 (y) は、気温が 0.4℃以下では 100%、2.6℃以上では 0% (100% 雨) 、0.5℃～ 2.5℃では気温 (x) の 1 次式 (y = -0.49x + 1.23) で近似することができた。降水の温度は気温より湿球温度に近いが、気温または湿球温度に基づいて冬期降水量を雪と雨に配分して月ごとに集計した結果、両者にはほとんど差がなかった。そこで、気温により降雪頻度を求める方法を採用し、1988 年～ 2016 年冬期の雨雪別降水量を算定した。今後は、このデータを活用して長期に渡る降雪量や冬期降雨量の変動傾向、さらに気温変動との関係を明らかにする予定である。

謝　辞

森林総合研究所十日町試験地における気象観測は、長年に渡り多くの職員により継続されてきた。観測およびデータの整理と保管に尽力された職員の方々に心からの敬意と謝意を表します。本報告の観測の一部は、森林総合研究所基盤事業費 (事項番号 : ウ a 113、K13、キ 103、事項名 : 多雪地帯積雪観測) により行なった。

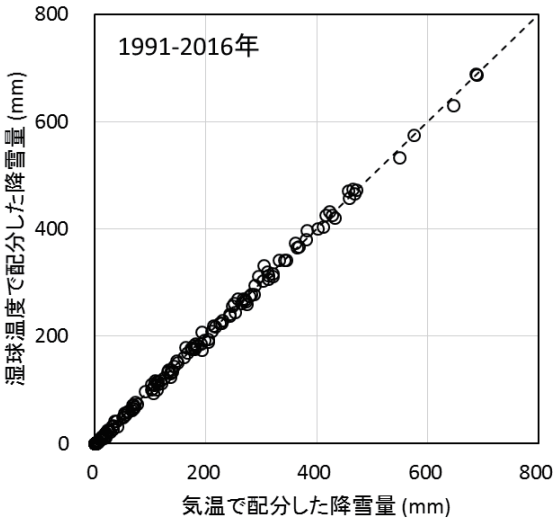

Fig. 3. 気温と湿球温度で判別した月ごとの降雪量の比較

引用文献

長谷美　達雄 (1991) 冬季降水における降雪の発生割合と地上気温の関係 (1) －発生割合の地域性と雨雪判別の的中率について－ . 雪氷 , 53, 33-43.

井上　聡・横山　宏太郎 (1998) 地球環境変化時における降積雪の変動予測 . 雪氷 , 60, 367-378.

気象庁 (1973) 地上気象常用表 . 気象庁，144pp.

熊倉　俊郎・山野井　克己・早川　典生 (2004) 積雪の多層圧密モデルを用いた北陸地方の降積雪現象の解析 . 雪氷 , 66, 35-50.

近藤　純正 (1994) 水環境の気象学 , 朝倉書店 , 348pp.

根津　誠一 (1948) 冬期間の降雪量及び降雨量の割合に就て . 雪 , 1, 32-35.

小川　真由美・野上　道男 (1997) 温暖化が冬季の降雪量に与える影響 . 水文・水資源学会誌 , 10, 79-86.

太田　岳史 (1989) 気温及び降水量による山地積雪水量の経時変化の推定 . 雪氷 , 51, 37-48.

森林総合研究所十日町試験地 (1990) 新潟県十日町市の気象 70 年報　1918 ～ 1987 年 (大正 7 年～昭和 62 年) , 森林総合研究所研究報告 , 357, 161-230.

水津　重雄 (2001) 簡易熱収支法による融雪・積雪水量モデル . 雪氷 , 63, 307-318.

水津　重雄 (2010) 気温上昇が多雪山地流域の降雪 , 融雪 , 積雪水量に及ぼす影響 . 雪氷 , 72, 13-22.

菅谷　博 (1991) 寒候期降水中の雨・雪の判別 (その 3) －湿球温度による推定 . 平成 3 年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集 , 48.

竹内　由香里・庭野　昭二・村上　茂樹・山野井　克己・遠藤　八十一・小南　裕志 (2008) 新潟県十日町市の気象 90 年報 (1918 年～ 2007 年). 森林総合研究所研究報告 , 7, 187-244.

山崎　剛 (1998) 厳寒地に適用可能な積雪多層熱収支モデル . 雪氷 , 60, 131-141.

Table 2. 月降雨量と月降雪量（降水量の雨雪別積算値）

（単位:mm）

年（冬期）	11 月			12 月			1 月			2 月			3 月			4 月			冬期間(11～4月)		
	雨	雪	合計	雨	雪	合計	雨	雪	合計	雨	雪	合計	雨	雪	合計	雨	雪	合計	雨	雪	合計
1988	149.3	33.7	183.0	76.7	125.3	202.0	59.2	332.3	391.5	23.3	327.2	350.5	36.6	110.9	147.5	49.5	18.0	67.5	394.6	947.4	1342.0
1989	227.5	42.5	270.0	60.9	180.1	241.0	81.3	138.2	219.5	80.2	144.3	224.5	95.6	52.9	148.5	131.5	0.0	131.5	677.0	558.0	1235.0
1990	159.8	24.2	184.0	144.4	174.1	318.5	44.5	355.0	399.5	80.8	34.2	115.0	20.3	21.2	41.5	112.0	13.0	125.0	561.8	621.7	1183.5
1991	120.6	0.4	121.0	139.6	111.4	251.0	51.4	432.1	483.5	57.0	368.0	425.0	75.1	59.9	135.0	49.9	1.6	51.5	493.6	973.4	1467.0
1992	146.0	10.0	156.0	145.5	66.0	211.5	65.8	270.7	336.5	52.4	266.6	319.0	91.1	49.9	141.0	130.4	0.1	130.5	631.2	663.3	1294.5
1993	134.3	31.2	165.5	97.2	263.3	360.5	83.0	175.0	258.0	65.5	288.5	354.0	60.5	112.0	172.5	56.3	12.7	69.0	496.8	882.7	1379.5
1994	104.6	10.4	115.0	84.4	217.1	301.5	52.5	224.0	276.5	47.8	310.7	358.5	63.8	108.2	172.0	31.8	1.2	33.0	384.9	871.6	1256.5
1995	111.2	9.8	121.0	184.9	257.6	442.5	46.8	471.2	518.0	43.3	251.2	294.5	74.6	90.9	165.5	105.8	32.2	138.0	566.6	1112.9	1679.5
1996	229.7	40.3	270.0	151.1	273.4	424.5	50.5	363.5	414.0	8.3	312.7	321.0	76.6	149.4	226.0	42.2	69.3	111.5	558.4	1208.6	1767.0
1997	228.8	24.7	253.5	84.0	132.0	216.0	46.8	360.2	407.0	39.8	213.7	253.5	85.7	22.8	108.5	125.5	0.0	125.5	610.6	753.4	1364.0
1998	164.5	0.0	164.5	98.6	72.4	171.0	42.8	456.7	499.5	67.7	146.8	214.5	69.7	67.3	137.0	81.2	19.3	100.5	524.5	762.5	1287.0
1999	192.0	38.0	230.0	160.7	102.3	263.0	51.3	422.2	473.5	52.5	332.5	385.0	88.5	53.0	141.5	99.6	13.4	113.0	644.6	961.4	1606.0
2000	200.6	5.9	206.5	188.2	304.3	492.5	104.1	159.9	264.0	33.7	415.8	449.5	117.0	193.0	310.0	88.9	0.6	89.5	732.5	1079.5	1812.0
2001	192.0	0.0	192.0	127.6	247.4	375.0	38.6	463.9	502.5	57.2	173.8	231.0	68.5	162.5	231.0	41.1	17.9	59.0	525.0	1065.5	1590.5
2002	160.1	23.4	183.5	94.3	294.7	389.0	114.7	381.8	496.5	24.3	181.7	206.0	93.3	35.7	129.0	80.7	0.3	81.0	567.4	917.6	1485.0
2003	249.3	135.2	384.5	55.0	209.5	264.5	23.6	302.4	326.0	34.8	101.2	136.0	90.3	103.7	194.0	161.0	0.5	161.5	614.0	852.5	1466.5
2004	205.0	0.0	205.0	175.9	192.6	368.5	43.2	277.8	321.0	81.0	227.5	308.5	31.0	76.5	107.5	82.8	0.7	83.5	618.9	775.1	1394.0
2005	179.8	0.2	180.0	126.3	166.7	293.0	33.4	574.6	608.0	35.3	379.7	415.0	80.8	173.7	254.5	54.6	0.9	55.5	510.2	1295.8	1806.0
2006	212.5	32.5	245.0	64.3	685.7	750.0	40.3	426.7	467.0	57.2	191.3	248.5	75.8	112.7	188.5	135.3	4.2	139.5	585.4	1453.1	2038.5
2007	188.0	0.0	188.0	185.2	230.3	415.5	66.2	142.8	209.0	56.7	112.3	169.0	93.4	130.6	224.0	62.0	1.0	63.0	651.5	617.0	1268.5
2008	179.2	58.3	237.5	139.5	204.0	343.5	35.9	345.1	381.0	13.8	342.2	356.0	99.3	71.2	170.5	58.6	6.9	65.5	526.3	1027.7	1554.0
2009	153.8	58.7	212.5	132.3	124.2	256.5	81.4	178.1	259.5	78.5	118.0	196.5	93.8	107.2	201.0	91.6	23.4	115.0	631.4	609.6	1241.0
2010	175.4	16.1	191.5	71.1	251.9	323.0	55.9	549.1	605.0	47.7	179.3	227.0	105.6	105.4	211.0	140.3	5.2	145.5	596.0	1107.0	1703.0
2011	192.9	0.1	193.0	191.0	203.5	394.5	7.7	687.3	695.0	30.2	120.3	150.5	33.3	242.7	276.0	123.2	2.8	126.0	578.3	1256.7	1835.0
2012	229.2	27.3	256.5	137.6	320.9	458.5	10.0	467.5	477.5	43.5	320.5	364.0	90.0	137.0	227.0	87.8	54.7	142.5	598.1	1327.9	1926.0
2013	334.2	18.8	353.0	82.6	458.4	541.0	12.6	401.4	414.0	32.8	285.7	318.5	34.1	51.9	86.0	148.0	18.5	166.5	644.3	1234.7	1879.0
2014	179.8	68.2	248.0	94.7	271.3	366.0	39.6	312.9	352.5	19.6	183.9	203.5	145.3	139.2	284.5	50.7	9.8	60.5	529.7	985.3	1515.0
2015	236.5	0.0	236.5	100.1	645.9	746.0	35.7	411.3	447.0	32.3	282.2	314.5	62.5	136.5	199.0	146.4	1.1	147.5	613.5	1477.0	2090.5
2016	251.5	0.0	251.5	160.8	180.2	341.0	58.0	242.0	300.0	43.9	196.6	240.5	41.7	69.8	111.5	136.8	1.7	138.5	692.7	690.3	1383.0

Estimation of solid and liquid precipitations categorized based on air temperature during snowfall or rainfall

Yukari TAKEUCHI [1) *] , Yasoichi ENDO[1)] and Shoji NIWANO[1)]

Abstract

The categorization of winter precipitations into solid and liquid is important because the effects of snowfall and rainfall on climate, environment, and human life differ significantly. The monthly solid and liquid precipitations were calculated by reading the automatic precipitation gauge chart since the winters of 1922–1987 at the Tohkamachi Experimental Station, FFPRI. It is desired that the solid and liquid precipitations be calculated since 1988 and longtime data be obtained. Therefore, the correlation between air temperature and the ratio of snowfall during precipitation was investigated and solid and liquid precipitations were calculated. Although the precipitation particle temperature should be more similar to the wet-bulb temperature than the air temperature, there is little difference between the calculated results using these two temperatures. Accordingly, in this study, winter precipitations from 1988 to 2016 were categorized into solid and liquid precipitations using the snowfall ratio based on the air temperature.

Key words : solid and liquid precipitations, air temperature, Tohkamachi

Received 9 August 2016, Accepted 21 October 2016
1) Tohkamachi Experimental Station, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)
* Tohkamachi Experimental Station , FFPRI, Kawahara-cho 614, Tohkamachi, 948-0013, Japan; e-mail: yukarit@affrc.go.jp