

短報 (Note)

北アルプス・上高地における降積雪の時空間分布

近藤ひかる^{1,2}・的場澄人²・佐々木明彦³・西村基志⁴・鈴木啓助⁵Spatiotemporal Distribution of Snowfall and Snow Accumulation in
Kamikochi, Northern Japanese AlpsHikaru Kondo^{1,2}, Sumito Matoba², Akihiko Sasaki³, Motoshi Nishimura⁴ and Keisuke Suzuki⁵

摘要 山岳地域の谷内における降積雪の空間分布とその変動要因を明らかにするため、2014～2024年に北アルプス上高地の5地点に積雪深計を設置し、連続観測を実施した。積雪深の増減のタイミングは各地点で概ね一致しており、降雪は谷全体で同時的に発生していることが示された。一方で、積雪深および降雪深の空間分布は谷の北端および南端で大きく中央部で小さい傾向を示した。気圧配置別にみると、冬型の気圧配置時には、山岳で形成された雲が風下側へ流れ、比較的標高の低い山の風下に位置する地点で降雪深が多く、南岸低気圧時には南からの空気塊が北側山地に遮られることにより谷の北部で降雪深が多くなることが示唆された。

キーワード 上高地、降雪深分布、積雪深分布、降雪時の気圧配置、高山地域

Abstract This paper describes the spatial distribution of snowfall and snow accumulation in a mountain valley, as well as the factors controlling it. We conducted continuous observation using snow depth gauges at five sites in Kamikochi, the Northern Japanese Alps, from 2014 to 2024. The results demonstrated that the timing of fluctuations in snow accumulation depth was generally consistent across all sites, and snowfall events occurred simultaneously throughout the valley. However, the spatial distribution of both snow accumulation depth and snowfall depth tended to be greater at the northern and southern ends of the valley and smaller in the central area. Analysis by synoptic pressure patterns suggested that during winter monsoon patterns, snowfall is greater at a location downwind of relatively low mountains because clouds formed over the mountains flow downwind. During south-coast cyclones, snowfall is greater at the northern part of the valley than in other areas, likely because moist air masses from the south are blocked by the northern mountain region.

Keywords Kamikochi, snowfall distribution, snow accumulation distribution, atmospheric pressure pattern during snowfall, alpine region

1. はじめに

山岳域の積雪は、水を固体の状態で地上に貯留することから「天然の白いダム」と呼ばれる [1]。この貯留された積雪は融雪後に水力発電、生活用水、工業用水、農業用水などに広く利用される重要な水資源である。そのため、山岳域の降雪、積雪の時空間分布を把握することは重要である。

これまで、山岳地域を含めた広域スケールの降積雪の時空間分布については再解析データや領域気候モデル、AMeDAS 観測データを用いた研究 [2-4] が行われ

てきた。一方で、山岳域における局所的な降積雪の時空間分布を扱った研究は限られている。これは、山岳域の降雪および積雪には、山岳域の複雑な地形に加え、気温、開空率、気圧配置、風上安定性など複数の要因が複雑に影響しており、単純化した数値モデルによる山岳域の降積雪の復元は難しいこと、さらに過酷な自然環境により気象庁の気象官署を含め、山岳域での現地観測データが不足していることに起因する [5]。

本研究対象地を含む北アルプスの山岳域では、信州大学山の環境研究センターにより積雪深を含む気象観測が行われている [6]。

*1 北海道大学大学院環境科学院 〒060-0810 札幌市北区北 10 条西 5 丁目 Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, Sapporo 060-0810

*2 北海道大学低温科学研究所 〒060-0819 札幌市北区北 19 条西 8 丁目 Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Sapporo 060-0819

*3 国士舘大学文学部 〒154-8515 世田谷区世田谷 4-28-1 Faculty of Letters, Kokushikan University, Tokyo 154-8515

*4 信州大学山岳科学研究所 〒390-8621 松本市旭 3-1-1 Institute for Mountain Science, Shinshu University, Matsumoto, 390-8621

*5 信州大学山の環境研究センター 〒390-8621 松本市旭 3-1-1 Research Center for Mountain Environment, Shinshu University, Matsumoto, 390-8621

https://doi.org/10.34502/physhydro.8.1_13

Nishimura et al. [7] は、同センターの観測データを用いて北アルプス・乗鞍岳における積雪分布に対する気象条件と地形の影響を明らかにした。冬型の気圧配置時には、強い西風が尾根を越えて東斜面に雪を再分配し、東斜面で積雪が多くなる傾向が見られた。一方、南岸低気圧時には、湿潤で弱い北東風が流れ込み、東斜面の低標高域に顕著な降雪がもたらされることを明らかにした。また、Tanaka and Suzuki [8] も中央アルプスにおいて同様の観測を行い、森林限界付近での積雪水当深度 (SWE) が、風の再分配や気圧配置の違いにより、同一標高でも東稜線の方が西稜線より大きいことを示し、山岳域における SWE の分布を推定するためには、気圧配置の考慮が重要であると指摘している。鈴木・佐々木 [9] は、航空レーザー測量により、上高地梓川流域の積雪分布を調査し、季節風の風下側にあたる梓川右岸斜面は、左岸斜面に比べて顕著に積雪深が大きいことが明らかになった。これは、冬季季節風によって稜線の風下側に雪が吹き溜まり、堆積するためと結論付けた。

このように、山岳域における稜線付近の降積雪の分布には地形と気圧配置の関係が重要であることは明らかであるが、多くの山岳地域において降積雪の詳細な時空間変動を示す観測データは不十分であり、谷地形内での降積雪の周囲の地形と気圧配置との関係は明らかにされていない。

北アルプス・上高地は、標高が約 1500 m で、その周囲を 3000 m 級の山岳に囲まれた、南北に延びる山岳域の谷である。全長約 10 km の谷地形の標高差は約 100 m と非常に小さく、降積雪分布の空間変動の標高効果を考慮しなくていいことから、谷地形内での降積雪の空間分布の地形と気圧配置との関係を検討するのに適したフィールドである。また、谷内に複数の積雪深観測器が設置され、11 年間にわたり観測が行われており、降積雪の空間分布と時間変化を詳細に把握することができる。

本研究では、上高地で観測された 11 年間の積雪深データを用いて、山岳域の谷内における降積雪の空間分布と時間変動を考察するとともに、気圧配置と地形との関係を明らかにすることを目的とする。

2. 方法

2-1) 研究対象地域とデータ

本研究の研究対象地域は、北アルプス・上高地である (Fig. 1)。上高地は、奥穂高岳 (標高: 3190 m)、槍ヶ岳 (標高: 3180 m)、大天井岳 (標高: 2922 m)、常念岳 (標高: 2857 m)、蝶ヶ岳 (標高: 2677 m)、焼岳 (標高: 2455 m)、霞沢岳 (標高: 2646 m) などの高山に囲まれた、

南北方向に延びる山岳域の谷地形である。

南北約 10 km 内の範囲に 5 地点の観測地点を設置し (観測地点名: K1, K2, K3, K4, K5)、積雪深と気温の観測を行った。Table 1 に各観測地点の標高と観測項目を、Table 2 に各観測機器の仕様を示す。計測は毎正時に行い、データロガーに記録した。本研究では、2014 年から 2024 年までの 11 冬期分を解析の対象期間とした。ここで冬期とは、前年 11 月から当年 4 月までとする。観測地点における当該日の積雪深は、その日の最大積雪深と定義した。日降雪深は、日界を日本標準時刻 24 時とし、毎時の積雪深とその 1 時間前の積雪深との差分のうち、正の値のみを 1 日ごとに積算することにより求めた。積雪深計の測定精度が ± 1 cm であることから、測定誤差の影響を十分に上回る変化量を抽出するため、測定精度の 3 倍の 3 cm 以上の積雪増加を降雪ありと判定した。さらに、風による積雪の再配分や野生動物による雪面の攪乱に起因する積雪深の増加を降雪と誤判定することを避けるため、5 地点のうち 2 地点以上で 3 cm 以上の積雪増加が確認された日を降雪日と定義した。

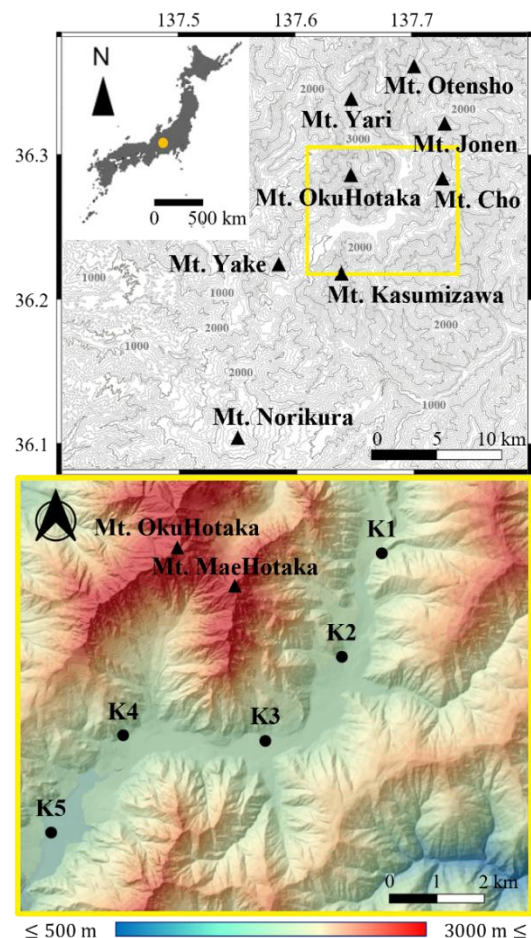


図 1. 研究対象地域と観測地点. 下図黒丸は観測地点 (K-1 ~ K-5) を示す.

Fig. 1. Study area and observation sites. The black dots indicate the observation points (K-1 ~ K-5) (bottom figure).

2-2) 気圧配置分類

研究対象地域に降雪をもたらす主な気圧配置を、冬型 (winter monsoon), 南岸低気圧型 (south-coast cyclone), 二つ玉低気圧型 (double cyclone), 寒冷前線通過型 (cold front) の4つのパターンに分類した。それぞれの典型的な天気図を Fig. 2 に示す。この分類には、気象庁が作成した日本標準時刻 09:00 と 21:00 の日本域地上天気図を使用し、降雪日かつ明確に分類できる

表 1. 観測地点の標高と観測項目。

Table 1. Elevation and observation items at each observation site.

site	elevation [m]	Observation variable	
		Air temp. [°C]	snow depth [cm]
K1	1610	○	○
K2	1585		○
K3	1529	○	○
K4	1525		○
K5	1490	○	○

表 2. 観測機器の仕様。

Table 2. Specifications of the observation instruments, at K-1 ~ K-5.

Parameters	Instrument	Accuracy
air temp. [°C]	Thermistor Thermo date (RTR-502, T&D)	± 0.3 °C
snow depth change [cm]	Laser snow depth gauge (KADEC21-SNOW, North One) Laser snow depth sensor (KDC-S18-L-10R, North One)	± 1 cm

事例のみを解析対象とした。温暖前線による降雪など 4 パターン以外の気圧配置による降雪と判断された場合は本研究の解析対象には含めていない。各気圧配置の発生回数と発生頻度を Table 3 に示す。

表 3. 各気圧配置の発生回数 (上段) と発生頻度率 (下段 (%)). “others” は 4 パターン以外の気圧配置による降雪事例を示す。

Table 3. Number of occurrences (top) and frequency rate (bottom, %) of each pressure pattern. “others” show snowfall events by pressure patterns other than the four listed.

	winter monsoon	south-coast cyclone	double cyclone	cold front	others	total
2014	26 (48)	6 (11)	4 (7)	8 (15)	10 (19)	54
2015	23 (31)	8 (11)	7 (9)	7 (9)	29 (39)	74
2016	14 (27)	3 (6)	3 (6)	3 (6)	29 (56)	52
2017	25 (36)	8 (11)	3 (4)	9 (13)	25 (36)	70
2018	27 (39)	2 (3)	8 (11)	6 (9)	27 (39)	70
2019	22 (39)	7 (13)	2 (4)	6 (11)	19 (34)	56
2020	18 (32)	9 (16)	4 (7)	8 (14)	18 (32)	57
2021	23 (43)	4 (7)	2 (4)	9 (17)	16 (30)	54
2022	28 (50)	7 (13)	2 (4)	6 (11)	13 (23)	56
2023	24 (40)	3 (5)	3 (5)	8 (13)	22 (37)	60
2024	22 (32)	9 (13)	3 (4)	5 (7)	29 (43)	68

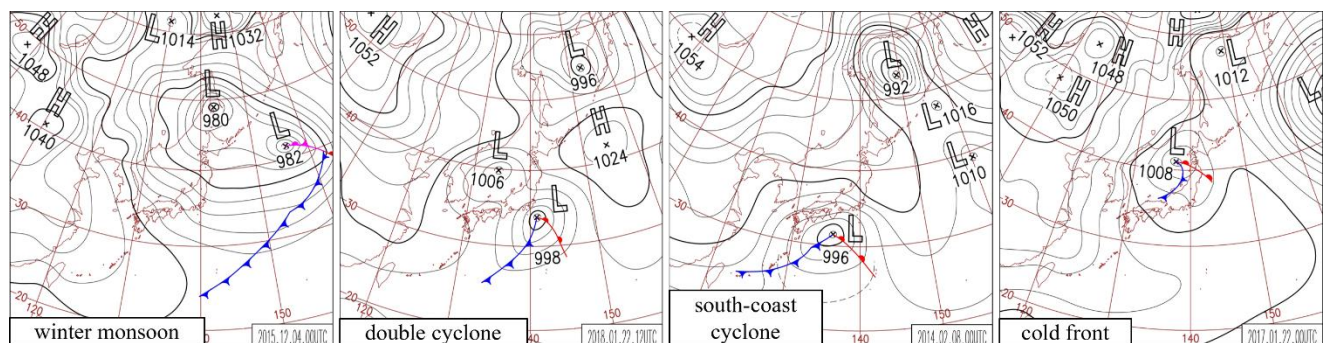


図 2. 上高地に降雪をもたらす主な気圧配置分類の代表例。気象庁作成の日本域地上天気図 (9 時・21 時) を加工して作成。左上: 冬型 (2015 年 12 月 4 日 9 時); 右上, 南岸低気圧 (2014 年 2 月 8 日 9 時); 左下, 二つ玉低気圧 (2018 年 1 月 22 日 21 時); 右下, 寒冷前線 (2017 年 1 月 22 日 9 時)。国立国会図書館デジタルコレクション「天気図」で公開されている気象庁作成の日本域地上天気図 (9 時, 12 時) を加工して作成 [10-13]。

Fig. 2. Classification of synoptic patterns causing snowfall in Kamikochi. Created based on the Japan surface weather charts (09:00 and 21:00 JST) provided by the Japan Meteorological Agency. Left-top: Winter monsoon (09:00, 4 December 2015); Right-top: South-coast cyclone (09:00, 8 February 2014); Left-bottom: Twin cyclone (21:00, 22 January 2018); Right-bottom: Cold front (09:00, 22 January 2017). The figures were modified by the surface weather analyses around Japan (9:00 and 21:00 JST) prepared by the Japan Meteorological Agency and made available in the “Weather Charts” collection of the National Diet Library Digital Collections were processed and used. [10-14].

3. 結果と考察

各観測地点の日積雪深の変動を **Fig. 3** に示す。積雪は 11 月下旬から 4 月上旬まで観測され、ほとんどの年で K-1 と K-5 の積雪が多く、K-3 が少ない傾向が見られた。また、日積雪深の増減のタイミングは、どの地点においても概ね一致していた。なお、2024 年 2 月の積雪深の急激な減少は、夜間の気温もプラスに推移

するような異常な気温上昇により、融雪が進行したためである [14]。

次に、各観測地点の日降雪深の変動を **Fig. 4** に示す。日降雪深も K-1 または K-5 で多い傾向にあるが、5 箇所の観測点の中で常にこれらの地点で日降雪深が最大となるわけではなく、降雪イベントによっては、他の地点で日降雪深が最大となる場合も確認された。この

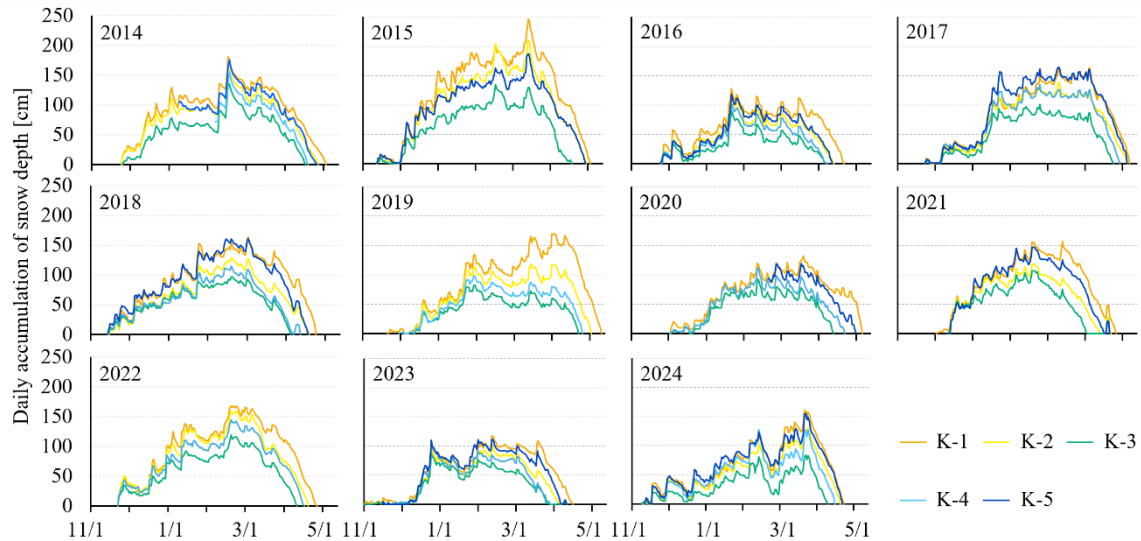


図 3. 各年の日積雪深の変動。線の色は観測地点を示す: K-1 (橙); K-2 (黄); K-3 (緑); K-4 (淡青); K-5 (青)。

Fig. 3. Variations in daily snow depth at each year. The line colors indicate the observation points: K-1 (orange); K-2 (yellow); K-3 (green); K-4 (light blue); K-5 (blue).

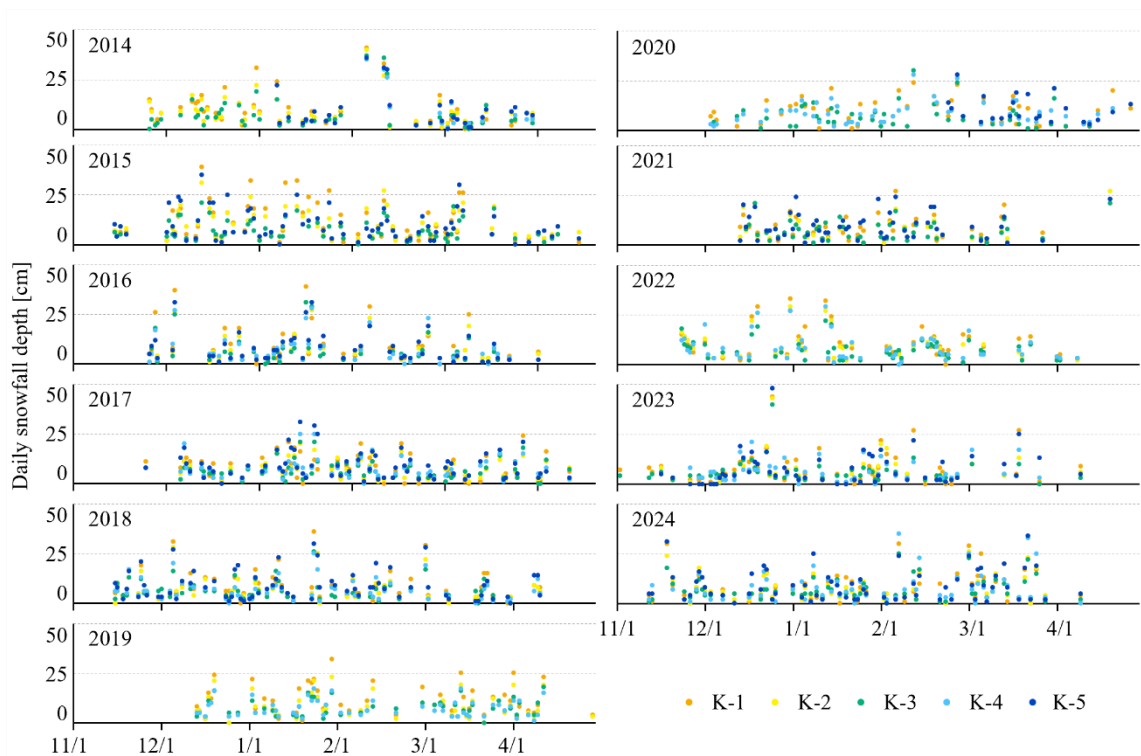


図 4. 各年の降雪日の日降雪深の変動。点の色は観測地点を示す: K-1 (橙); K-2 (黄); K-3 (緑); K-4 (淡青); K-5 (青)。

Fig. 4. Variations in daily snowfall depth at each year on Snow Days. The dots colors indicate the observation points: K-1 (orange); K-2 (yellow); K-3 (green); K-4 (light blue); K-5 (blue).

表 4. 各観測地点における冬季の年最大積雪深および年累積降雪深. "N.D."は欠測を示す. 各地点の観測期間の平均値を $\bar{x}$, 標準偏差を σ とし, $\bar{x} + 1.0\sigma$ 以上を濃赤, $\bar{x} + 1.0\sigma$ から $\bar{x} + 0.5\sigma$ を淡赤, $\bar{x} - 1.0\sigma$ から $\bar{x} - 0.5\sigma$ を淡青, $\bar{x} - 1.0\sigma$ 以下を濃青で示す.

Table 4. Annual maximum snow depth and annual cumulative snowfall at each observation site during the winter season. "N.D." indicates missing data. The mean value for the observation period at each site is denoted as $\bar{x}$, and the standard deviation as σ . Values of $\bar{x} + 1.0\sigma$ or higher are indicated in dark red; those between $\bar{x} + 1.0\sigma$ and $\bar{x} + 0.5\sigma$ in light red; those between $\bar{x} - 1.0\sigma$ and $\bar{x} - 0.5\sigma$ in light blue; and those of $\bar{x} - 1.0\sigma$ or lower in dark blue.

	Annual maximum snow depth [cm]					Annual cumulative snowfall depth [cm]				
	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5
2014	181	161	136	155	176	564	544	430	N.D.	N.D.
2015	246	210	135	N.D.	187	845	794	578	N.D.	822
2016	128	113	90	102	118	522	482	387	414	483
2017	163	139	101	134	165	594	605	553	592	705
2018	163	128	96	114	161	649	542	467	494	660
2019	170	118	82	98	N.D.	695	504	518	478	N.D.
2020	132	N.D.	93	112	119	602	N.D.	420	575	N.D.
2021	157	118	107	N.D.	147	529	443	437	N.D.	573
2022	168	159	119	145	N.D.	594	536	489	520	N.D.
2023	118	100	87	100	112	526	414	488	466	489
2024	160	130	84	128	155	623	548	544	629	693
ave.	162	138	103	121	149	613	541	483	521	632
std.	34	32	19	21	27	94	105	61	72	124

ことから, 降雪イベントごとに降雪の空間分布特性が異なることが示唆された。また, 2019年冬期から2021年冬期は, 他の年と比較して初降雪日が遅い傾向が見られた。一方, 2015年冬期は比較的強度の高い降雪が継続していたことが確認された。

各年の各観測地点の年最大積雪深および年累積降雪深を Table 4 に示す。2015年冬期は年最大積雪深及び年累積降雪深が全ての地点において大きかったことから, 多雪年であったといえる。これは, 気象庁の平成 27 年報道発表資料に示されている, 日本海側の降雪量が少なかった傾向とは異なる [15]。一方, 2016年は年最大積雪深及び年累積降雪深が全て地点において小さかったことから, 少雪年であったといえる。これは, 気象庁の平成 28 年報道発表資料に示されている, 日本海側の降雪量が少なかった傾向と同様である [16]。また, 2019年冬期から2021年冬期は初降雪日が遅いものの, 必ずしも少雪年とは言えず, 降雪イベントの開始時期がその年の多雪・少雪を決定づける主要因ではないといえる。平均年最大積雪深および平均年累積降雪深は, いずれも K-1 および K-5 で大きい傾向が確認された。概ね年累積降雪深と年最大積雪深の大小は対応しているが, 2017年の K-3 のように年降雪深が多いにも関わらず最大積雪深が小さい場合や, 2022年の K-4 のように年累積降雪深が年並みにも関わらず最大積雪深が大きい場合も見られた。

各地点における月最大積雪深および月累積降雪深の 11 年間の平均値の変動を Fig. 5 に示す。いずれかの

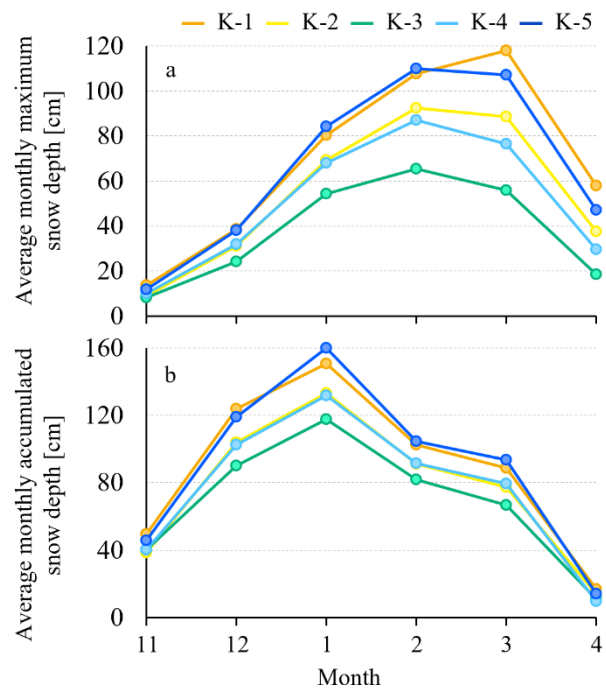


図 5. 各積雪深観測地点における, (a)月最大積雪深および (b)月累積降雪深の 11 年間の平均値. いずれかの観測地点において 1 日でも欠測が存在する月は, 解析対象から除外した.

Fig. 5. 11-year average values of (a) monthly maximum snow depth and (b) monthly cumulative snowfall depth at each snow depth observation site. Months with missing data for at least one day at any observation site were excluded from the analysis.

観測地点において、1 日でも欠測が存在する月は、解析対象から除外した。月累積降雪深は全ての地点で 1 月にピークが見られた。また、1 月を除いて、平均月累積降雪深は K-1 と K-5、K-2 と K-4 でそれぞれほぼ同程度の値を示した。一方、平均月最大積雪深は 3 月以降、K-5 より K-1 の方が多く、また K-4 より K-2 の方が多い傾向が見られた。さらに、K-2、K-3、K-4、K-5 では、2 月に最大値を示したが、K-1 のみ 3 月に最大値を示した。K-1、K-3、K-5 の月平均気温は、全期間を通して、K-1 は他の 2 地点と比較して気温が低く、特に 3 月には明確に 0°C を下回っているのに対し、K-3 及び K-5 は 0°C 近くであった (Fig. 6)。このように K-1 においては 3 月まで気温が低く、著しい融雪が生じていないため、K-1 のみ 3 月に平均月最大積雪深がピークになったと考えられる。

次に、降雪日と判定された日の気圧配置発生回数の年変動を Fig. 7 に示す。冬型の発生回数が最も多く、その他の 3 つの気圧配置は概ね同程度の頻度であるが、年によって発生回数にばらつきが見られ、2016 年はすべての気圧配置の発生回数が少なかった。

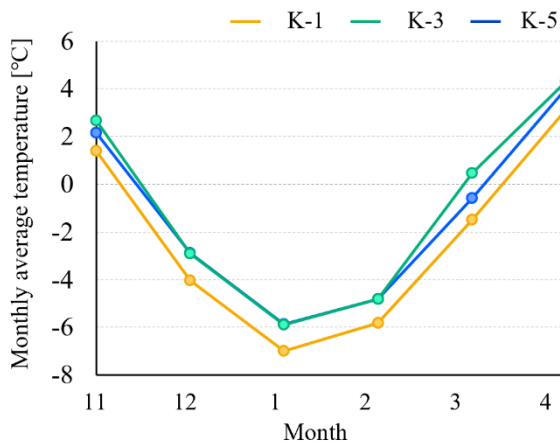


図 6. K-1, K-3, K-5 における月平均気温.
Fig. 6. Monthly Average Temperature at K-1, K-3, K-5.

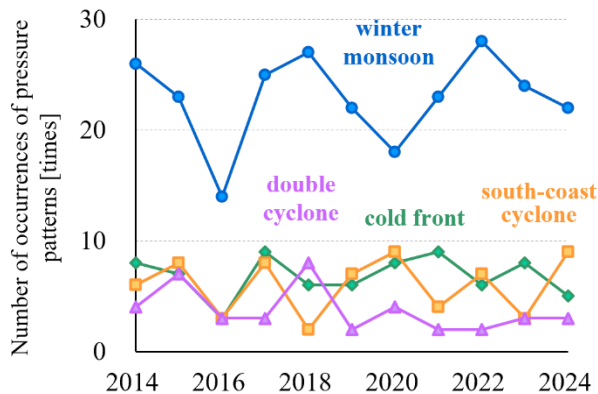


図 7. 降雪日の気圧配置発生回数の年変動.
Fig. 7. Interannual variations in the frequency of atmospheric pressure patterns on snow days.

次に、気圧配置ごとの各地点における月累積降雪深の 11 年間の平均値の変動を Fig. 8 に示す。いずれかの観測地点において、1 日でも欠測が存在する月は、解析対象から除外した。どの地点においても冬型による降雪深が最も大きく、1 月が最大となった。ついで南岸低気圧型による降雪深が大きく、3 月に最大となった。二つ玉低気圧および寒冷前線による降雪では、いずれの地点においても降雪深は概ね同程度であった。二つ玉低気圧では 1 月にピークを示し、寒冷前線による降雪は 2 月にピークを示した。

冬型では地点間で降雪深に差が見られ、特に K-5 で降雪が多かった。冬型気圧配置時には卓越風向が北西となるため、日本海側から流入した湿潤な空気は、K-5 の西側に位置する焼岳付近で上昇し、そこで対流性の雲が形成される。焼岳は標高 2455 m であり、周辺の 3000 m 級の山岳と比較すると相対的に低いため、形成された雲はその東側へ流れやすい。K-5 は焼岳の東側に位置するため、これらの雲による降雪の影響を受けやすいことから、K-5 では冬型のときに降雪が多くなると考えられる。一方、K-5 以外の観測地点では、西側に穂高連峰などの 3000 m 級の山岳が位置しており、日本海側から流入した空気塊は、これらの山岳でブロックされ、山地の風上側で降雪として大気中から除去

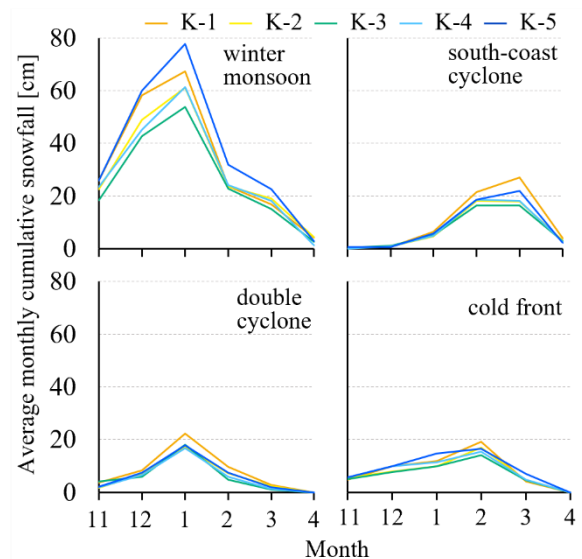


図 8. 気圧配置ごとの各積雪深観測地点における月累積降雪深の 11 年間の平均値。いずれかの観測地点において 1 日でも欠測が存在する月は、解析対象から除外した。左上: 冬型; 右上: 南岸低気圧; 左下: 二つ玉低気圧; 右下: 寒冷前線。

Fig. 8. 11-year average values of monthly cumulative snowfall at each snow depth observation site by atmospheric pressure pattern. Months with missing data for at least one day at any observation site were excluded from the analysis. Left-top: Winter monsoon; Right-top: South-coast cyclone; Left-bottom: Twin cyclone; Right-bottom: Cold front.

される水蒸気の割合が多くなることから、K-5 より降雪深が少なくなると考えられる。さらに、K-1 と K-3 の東側には、穂高岳から南北に延びる稜線と、前穂高岳から南北に延びる稜線があり、K-1, K-3 にはこの二つの稜線を越えた比較的乾いた空気塊が移流すること、K-5 に比べて降雪深が少ない理由と考えられる。南岸低気圧の場合には、K-1 で降雪深がやや多い傾向が見られる。K-1 は、観測地点の中で最も北側に位置している。南から流入した空気塊は、K-1 の北側に位置する常念岳や大天井岳によって上昇し、K-1 では降雪が強化されるため、K-1 では南岸低気圧のときに降雪が多くなると考えられる。

4. 結論

本研究では、北アルプス上高地に設置された 5 地点の積雪深観測器のデータを用いて、2014 年から 2024 年までの 11 冬期を対象に、谷内における積雪と降雪の空間分布と時間変動を明らかにし、その要因について解析を行った。

その結果、上高地における積雪深および降雪深には地点間で明確な差が見られ、平均的に谷の北端に位置する K-1 および南端に位置する K-5 で降雪深および積雪深が大きく、谷中央部に位置する K-3 で小さい傾向が確認された。一方で、積雪深の増減のタイミングは各地点で概ね一致しており、降雪イベントは谷内で広域的に同時に発生していることが示された。また、降雪分布は気圧配置によって異なる特徴を示した。二つ玉低気圧および寒冷前線による降雪では地点間の差は小さい一方、冬型気圧配置では地点ごとの差が顕著であり、K-5 で降雪が多い傾向が確認された。これは、日本海側から流入した湿潤な空気が焼岳付近で上昇して形成された雲が東側へ移動することや、他の観測地点では観測地点の風上に位置する 3000 m 級山岳で降水が起こりやすい地形条件にあることが影響している可能性がある。また、南岸低気圧の場合には K-1 で降雪がやや多くなる傾向が見られ、南から流入した空気塊が北側の山地によって遮られることにより降雪が強化される可能性が示唆された。

以上の結果から、上高地における降雪分布は、降雪をもたらす気圧配置の特性に加え、谷地形および周辺山地による地形効果の影響を受けて形成されていることが明らかとなった。本研究は、11 年間の実測データを用いて山岳域の谷内における降雪分布の実態を明らかにしたものであり、山岳域の谷内における降雪分布特性の理解に有用な知見を与えるものである。

参考文献

- 鈴木啓助 (2013): 中部山岳地域における気象観測の現状とその意義. 地学雑誌, **122**: 553-570. <https://doi.org/10.5026/jgeography.122.553>
- Kawase H, Sasai T, Yamazaki T, Ito R, Dairaku K, Sugimoto S, Sasaki H, Murata A, Nosaka M (2018): Characteristics of synoptic conditions for heavy snowfall in western to northeastern Japan analyzed by the 5-km regional climate ensemble experiments. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **96**: 161–178. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2018-022>
- Sasai T, Kawase H, Kanno Y, Yamaguchi J, Sugimoto S, Yamazaki T, Sasaki H, Fujita M, Iwasaki T (2019): Future projection of extreme heavy snowfall events with a 5-km large ensemble regional climate simulation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **124**: 13975-13990, <https://doi.org/10.1029/2019JD030781>
- Ueno K (2023): Assessments of long-term precipitation and temperature variations during snow cover periods using high-elevation AMeDAS data in central Japan. *Bulletin of Glaciological Research*, **41**: 1-14. <https://doi.org/10.5331/bgr.22A01>
- 鈴木啓助 (2018): 上高地における近年の気候・水循環変動. 雪氷, **80**: 103-113. https://doi.org/10.5331/seppyo.80.2_103
- 鈴木啓助・佐々木明彦 (2019): 中部山岳地域における気象観測網の展開. 地学雑誌, **128**: 9-19. <https://doi.org/10.5026/jgeography.128.9>
- Nishimura M, Tanaka R, Sasaki, A, Suzuki K (2022): Spatiotemporal variations of snow cover in Mt. Norikura, the Northern Japanese Alps. *Japanese Journal of Mountain Research*, **5**: 1-12. https://doi.org/doi:10.34532/jasms.5.0_1
- Tanaka M, Suzuki K (2008): Spatial variability of snow water equivalent in a mountainous area of the Japanese Central Alps. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, **113**: F03026. <https://doi.org/doi:10.1029/2006JF000711>
- 鈴木啓助・佐々木明彦 (2026): 上高地梓川流域の航空レーザ測量による積雪深分布. 山の科学, **9**: 1-11. https://doi.org/10.34532/jasms.9.0_1
- 気象庁 (2015): 天気図 平成 27 年 12 月 日本域地上天気図. URL: <https://dl.ndl.go.jp/pid/12899291> (2026 年 4 月 21 日時点)
- 気象庁 (2014): 天気図 平成 26 年 2 月 日本域地上天気図. URL: <https://dl.ndl.go.jp/pid/12899137> (2026 年 4 月 21 日時点)
- 気象庁 (2018): 天気図 平成 30 年 1 月 日本域地上天気図. URL: <https://dl.ndl.go.jp/pid/12899466> (2026 年 4 月 21 日時点)

13. 気象庁 (2017): 天気図 平成 29 年 1 月 日本域地上天気図. URL: <https://dl.ndl.go.jp/pid/1289938214>. (2026 年 4 月 21 日時点)
14. 鈴木啓助・西村基志・佐々木明彦 (2026): 北アルプス・上高地における厳冬期の一時的融雪. 陸水物理学会誌, **8**: 5-11. https://doi.org/10.34502/physhydro.8.1_5
15. 気象庁 (2015): 冬 (12~2 月) の天候. URL: <https://www.jma.go.jp/jma/press/1503/02c/tenko151202.htm> 1 (2026 年 4 月 19 日時点)
16. 気象庁 (2016): 冬 (12~2 月) の天候. URL: <https://www.jma.go.jp/jma/press/1603/01d/tenko161202.htm> 1 (2026 年 4 月 19 日時点)

受付 : 2026 年 4 月 9 日

受理 : 2026 年 5 月 8 日