

空中写真判読による中部山岳の越年性雪溪の分布と動態
Snow patch distribution and variations last until autumn in Central Japan
by means of aerial photographs interpretation

朝日克彦*

1. はじめに

地球温暖化のもと、気温変動に脆弱な山岳地の環境動態の研究は植物生態学や気象学をはじめとする自然科学の諸科学で試みられ、領域気象モデルによる将来予測も始まっている。一方で、山岳域では気象観測が稀なため実際の環境動態は未知のままでもある。中部山岳は世界でも稀な多雪地であり、そのため単に気候変化の実態が分かっていないだけでなく、温暖化によって山岳地の降雪量が増えているのか減っているのかというごく単純な疑問にすら答えられていない。気候変動を示す指標は様々にあるが、水が固体として存在している雪・氷は、その存在が熱環境に明確に規定されている。そのため気候変動の指標として相応しく、世界各地の氷河変動が明らかにされている。わが国の高山帯にはいわゆる「万年雪」が分布し、世界の高山帯の中でも特有の景観を形成している。地球温暖化による気候変化が顕在化する今日、氷河や積雪域の変化は IPCC においても気候変動の重要な指標として位置づけられている。このように重要な今日的テーマでありながら、積雪被覆域の動態は比較時期を統一する困難さもあり、一向に進んでいない。そこで新雪が覆う直前、晩秋期の積雪、なかんずく越年する積雪の変化であれば経年変化を明らかにする対象として相応しい。「万年雪＝雪溪」を研究対象としているのは山岳氷河が存在しないイギリス、オーストラリアに限られ、それも毎年の越年性雪溪について記載的な報告がされているにすぎない。それらの個体数も 10 に満たず、中長期的な動態については検討対象にもなっていない。北アルプスでは広範囲に越年性雪溪が分布することが知られており、世界的にも越年性雪溪の分布が卓越しており、雪溪の動態変化を明らかにするに相応しい山域といえる。またヒマラヤからシベリアへと続く積雪域・氷河域を繋ぐ点でも地理的に価値がある。雪溪の動態は研究テーマとして必ずしも画期的とはいえないが、世界的にもこれまで見落とされていた重要な研究テーマである。

* 信州大学山岳科学研究所

2. 研究方法

中部山岳における越年雪渓の分布を詳細に明らかにするため、セスナ機をチャーターして雪渓の分布が知られている北アルプス全域および南アルプス北部山域を飛行、手持ちカメラにより斜め取り空中写真を撮影する。撮影は2013年10月7日および14日である。翌10月15日に降雪がありこのまま根雪になったので、越年性雪渓の分布を撮影したといえる。飛行高度は概ね3000mである。この写真を判読し、1:25000地形図上に越年性雪渓の分布を描画する。次に、越年性雪渓の分布データを目録化する。目録化にあたっては、氷河目録の作成指針である World Glacier Monitoring Service (WGMS) のガイドラインにしたがい、世界的な基準を満たすものとした。即ち、集水域ごとに識別番号を与え、目録には雪渓名称、緯度経度座標、斜面方位、上端高度、末端高度、比高、長さ、である。

ついで、1963年以降2009年までの国土地理院、林野庁撮影の空中写真のうち、1:20000以上の大縮尺の空中写真を実体視判読し、過去50年間の雪渓分布を劔岳山域について明らかにした。実体視判読することにより、オルソ画像では判定が不可能な、崩壊地、地すべり地、土石流跡、などの類似地物と明確に区別でき、正確な雪渓分布図を作成することができる。末章ではここで明らかになる過去50年間の動態について考察する。

3. 研究対象地域

本研究では中部山岳、なかんずく日本アルプスを研究対象とする。北アルプスは北部の白馬岳、雪倉岳から乗鞍岳までの広範囲で分布が知られている。一方、南アルプスでは北岳北面の大樺沢に雪渓（大樺沢雪渓）が知られている程度である。そこで南アルプスは北部山域のみを対象とする。なおこの他の山域、中央アルプス、南アルプス、御嶽山については1977年国土地理院撮影の空中写真判読によっても分布が確認できなかった。

1963年以降の雪渓の動態については劔岳周辺の山域とした。対象範囲は北部は大窓谷、仙人谷、南は劔沢の源頭部の範囲で、面積は31.7km²の広さがあり、劔岳を端緒とする雪渓は網羅できている。

4. 結果

4-1 2013年の越年性雪渓分布

2013年10月にチャーターセスナ機から手持ちカメラにより斜め取り空中写真を撮影した。撮影枚数はおおよそ6000枚である。飛行のログはハンディGPSに記録し、

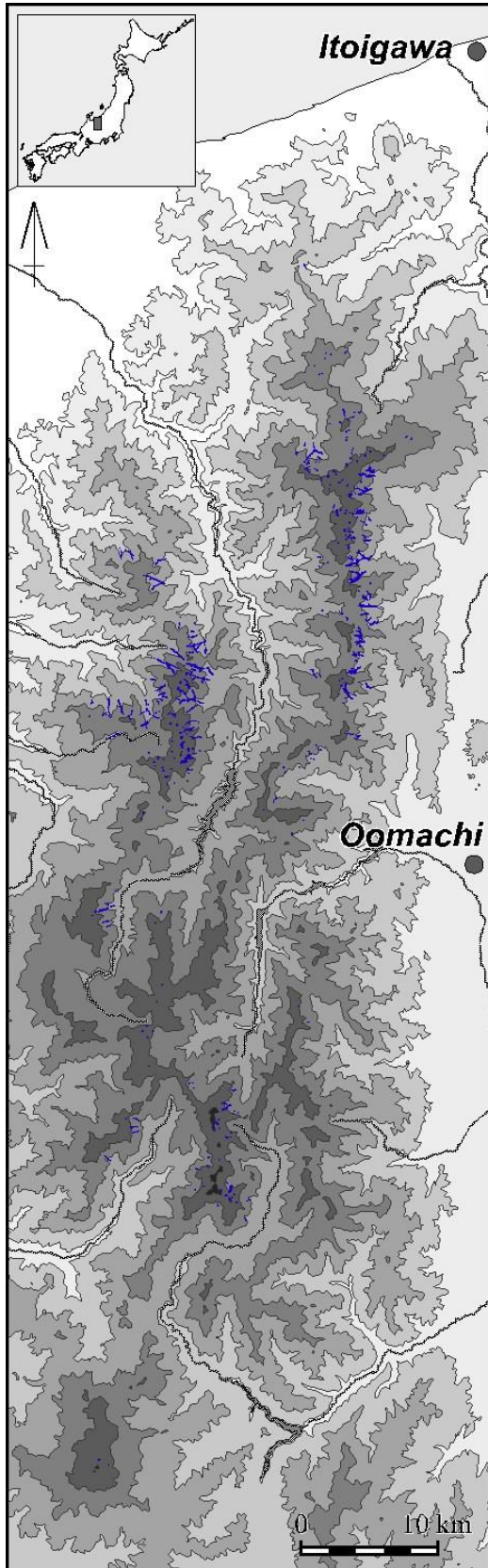


図1 北アルプスにおける2013年の越年性雪渓分布

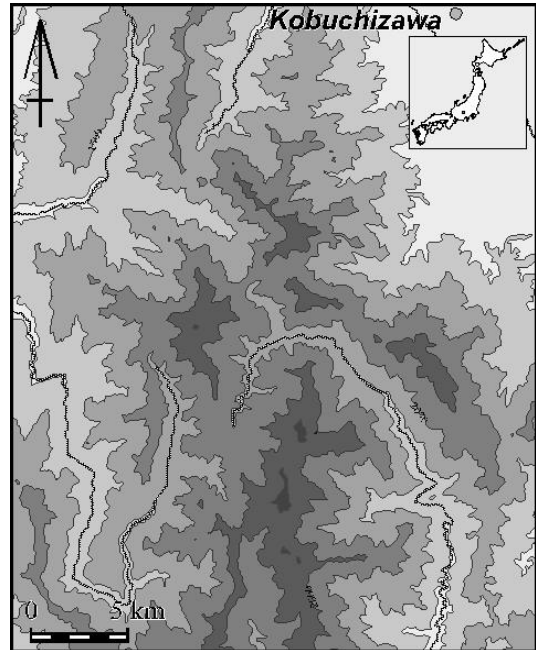


図2 南アルプス北部における2013年の越年性雪渓分布

図1と図2のスケールは同じである。図中、青で塗りつぶしたのが雪渓。

表 1 雪渓目録の例：劔岳東面 添付される雪渓分布図は図 3 に示す。

River system	Drainage	ID	Name	Latitude			Longitude			Direction	Elevation (m)			Area ha	Length m	Area total in drainage ha
				°	'	"	°	'	"		Max.	Min.	Δ			
3: Kurobe R.																
		302: Tsurugi-sawa R.														55.56
		30201		36	37	51.0	137	38	32.9	SW	1820	1720	100	3.25	700	
		30202	Komado	36	38	00.4	137	37	51.3	E	2320	1980	340	13.00	1410	
		30203		36	38	04.8	137	37	20.8	E	2440	2405	35	0.00	50	
		30204		36	37	53.1	137	37	48.6	NE	2250	2175	75	0.44	130	
		30205		36	37	55.2	137	37	42.8	E	2375	2245	130	0.25	190	
		30206		36	37	54.6	137	37	36.7	E	2435	2410	25	0.00	30	
		30207		36	37	54.1	137	37	34.3	E	2500	2480	20	0.00	20	
		30208		36	37	48.2	137	37	40.6	E	2445	2400	45	0.31	80	
		30209		36	37	47.2	137	37	34.4	E	2530	2520	10	0.00	10	
		30210		36	37	46.2	137	37	26.6	E	2650	2610	40	0.50	130	
		30211	San'nomado	36	37	36.2	137	38	02.9	E	2490	1720	770	7.25	1570	
		30212		36	37	42.0	137	37	25.4	NE	2700	2655	45	0.06	40	
		30213		36	37	29.4	137	37	43.0	NE	2480	2450	30	0.00	30	
		30214		36	37	25.4	137	38	11.5	N	2215	2160	55	0.31	120	
		30215		36	36	36.5	137	38	10.5	E	1820	1770	50	0.69	180	
		30216		36	36	38.9	137	38	03.7	E	1865	1820	45	0.50	190	
		30217	Tsurugi-sawa	36	36	51.3	137	37	28.2	E	2670	1880	790	14.44	1450	
		30218		36	37	20.9	137	37	29.0	SE	2740	2330	410	3.94	860	
		30219		36	37	23.0	137	37	27.4	SE	2580	2555	25	0.25	40	
		30220		36	37	27.5	137	37	24.0	E	2650	2640	10	0.00	10	
		30221		36	37	26.1	137	37	23.9	E	2650	2630	20	0.00	20	
		30222		36	37	25.1	137	37	10.6	E	2830	2730	100	0.56	120	
		30223		36	37	12.8	137	37	01.9	SE	2740	2660	80	0.13	100	
		30224		36	36	45.7	137	37	03.1	E	2410	2335	75	0.13	120	
		30225		36	36	47.8	137	36	59.0	E	2460	2430	30	0.00	50	
		30226		36	36	48.4	137	36	56.0	E	2510	2470	40	0.00	50	
		30227		36	36	16.8	137	36	40.0	E	2640	2600	40	0.06	70	
		30228		36	36	11.2	137	36	34.8	E	2710	2680	30	0.13	60	
		30229		36	36	10.7	137	36	43.9	N	2620	2595	25	0.00	60	
		30230		36	36	12.0	137	36	53.7	N	2505	2480	25	0.25	120	
		30231		36	36	08.9	137	36	48.2	NE	2580	2550	30	0.00	50	
		30232		36	36	05.3	137	36	52.9	N	2540	2520	20	0.13	60	
		30233	Hamaguri-yuki	36	35	49.0	137	36	39.4	NE	2740	2690	50	0.44	110	
		30234		36	35	47.0	137	36	58.9	N	2790	2750	40	0.13	70	
		30235		36	35	44.7	137	37	00.4	NW	2840	2810	30	0.00	40	
		30236		36	36	33.8	137	37	57.5	NE	1930	1890	40	0.13	120	
		30237	Bessan-zawa	36	36	21.2	137	37	35.9	NE	2370	2030	340	1.94	720	
		30238		36	36	02.8	137	38	04.6	NE	2120	2055	65	0.63	240	
		30239		36	35	56.5	137	38	00.1	NE	2155	2140	15	0.00	40	
		30240		36	35	56.3	137	37	52.4	E	2260	2200	60	0.13	110	
		30241		36	35	53.8	137	37	36.1	NE	2575	2330	245	0.50	430	
		30242		36	35	47.1	137	37	24.7	E	2700	2660	40	0.00	60	
		30243		36	35	37.5	137	37	36.3	E	2490	2280	210	3.88	650	
		30244	Masago-sawa	36	35	35.2	137	37	23.0	E	2530	2510	20	0.00	40	
		30245		36	35	40.4	137	37	17.0	SE	2680	2660	20	0.00	20	
		30246		36	35	31.5	137	37	19.6	E	2570	2525	45	0.19	130	
		30247		36	35	32.2	137	37	05.5	E	2700	2690	10	0.00	20	
		30248		36	35	28.3	137	37	10.1	E	2650	2610	40	0.88	180	
		30249		36	35	22.2	137	37	07.5	N	2740	2720	20	0.00	20	
		30250		36	35	20.0	137	37	11.2	N	2780	2760	20	0.00	30	
		30251		36	35	18.7	137	37	13.9	N	2850	2800	50	0.19	70	
		30252		36	35	28.4	137	37	30.8	N	2530	2510	20	0.00	40	
		30253		36	35	25.0	137	37	28.7	N	2595	2575	20	0.00	40	
		30254		36	35	52.0	137	38	00.4	NW	2190	2180	10	0.00	30	
.....																
		303: Kuranosuke-dan R.														6.44
		30301		36	35	35.2	137	38	22.0	NE	2095	1975	120	0.19	150	
		30302		36	35	15.2	137	38	00.1	E	2490	2090	400	1.69	730	
		30303		36	35	15.2	137	37	49.0	E	2500	2430	70	0.13	100	
		30304		36	35	17.8	137	37	42.5	E	2600	2580	20	0.00	40	
		30305		36	35	18.2	137	37	39.7	E	2650	2635	15	0.00	20	
		30306		36	35	09.8	137	37	22.7	E	2720	2710	10	0.00	10	
		30307		36	35	13.3	137	37	14.5	E	2845	2830	15	0.00	20	
		30308	Kuranosuke	36	34	57.2	137	37	16.7	E	2880	2660	220	4.44	610	
		30309		36	34	59.1	137	37	09.7	E	2790	2780	10	0.00	20	
		30310		36	34	57.9	137	37	10.0	E	2790	2780	10	0.00	20	

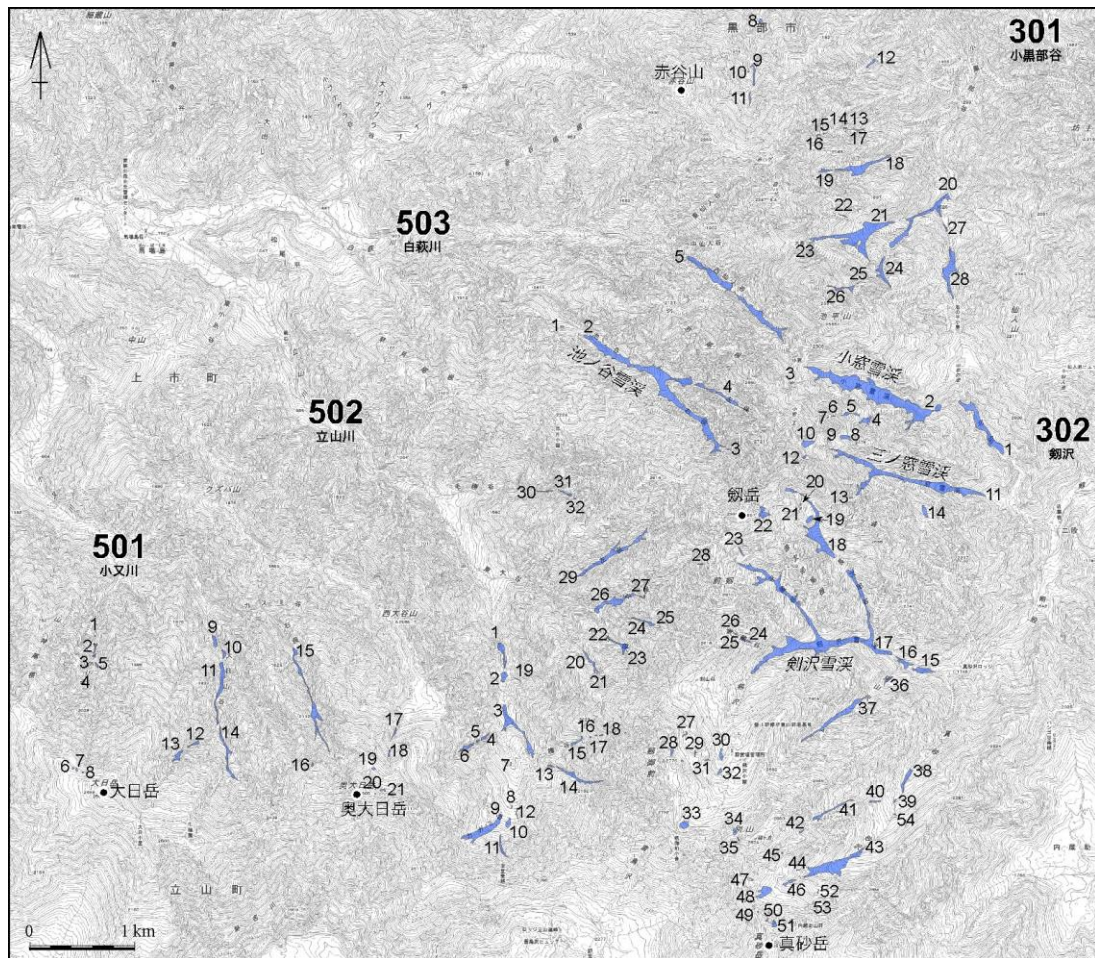


図3 雪渓目録に添付される劔岳周辺の越年性雪渓分布図. 雪渓には個体識別番号が割り当てられている.

判読の際の位置同定に利用した. 北アルプスおよび南アルプス北部全域の撮影ができ, 判読を困難にさせるような死視界は生じなかった. そこで判読結果は実際の雪渓分布を網羅したと考えている.

分布図を図1および図2に示す. 図1は北アルプス全域, 図2は南アルプス北部山城のうち, 実際に雪渓が分布していた北岳周辺である. 分布していた雪渓は北アルプスで598ヶ所, 南アルプスで3ヶ所, 計601ヶ所である. 面積は合計で3.61km²にも及ぶ(表2). 個々の雪渓の情報を目録化して, 2013年中部山岳雪渓目録を作成した. 膨大なデータになるので本稿では割愛するが, 劔岳東面の雪渓目録を例として提示する(表1, 図3). また流域ごとの雪渓目録を表2にまとめた. 後立山連峰を源流とする松川流域(ID: 104)や劔岳を源流とする劔沢流域(ID: 302)で数, 面積ともに大きい. 雪渓目録から代表的な雪渓の事例を挙げる. 最も北端の雪渓は犬ヶ岳の雪渓

表2 集水域ごとの雪渓目録のまとめ

River system	Drainage	Number of perennial snow patch	Total area of perennial snow patch (ha)
1：姫川水系			
	101：小滝川	4	1.56
	102：大所川	37	5.66
	103：楠川	3	6.00
	104：松川	66	81.21
	105：平川	14	21.38
2：信濃川水系			
	201：鹿島川	43	38.81
	202：箆川	22	3.03
	203：北葛川	3	0.38
	204：高瀬川	22	4.82
	205：中房川	4	0.37
	206：梓川	39	11.50
	207：前川	3	0.94
3：黒部川水系			
	301：小黒部谷	28	28.69
	302：劔沢	54	55.56
	303：内蔵助谷	10	6.44
	304：御前谷	16	12.25
	305：タンボ沢	3	0.50
	306：御山谷	8	0.75
	307：中谷	1	0.05
	308：ヌクイ谷	2	0.08
	309：黒部川源流	20	8.56
	310：東沢谷	2	0.10
	311：東谷	8	1.25
	312：餓鬼谷	9	1.31
	313：祖父谷	10	2.00
	314：祖母谷	14	4.94
	315：黒薙川	44	12.94
4：片貝川水系			
	401：東又川	5	5.06
5：早月川水系			
	501：小又川	21	5.88
	502：立山川	32	12.69
	503：白萩川	5	17.00
6：常願寺川水系			
	601：称名川	26	3.63
7：神通川水系			
	701：蒲田川	20	5.81
10：富士川水系			
	1001：野呂川	3	0.27
Total Area		601	361.39

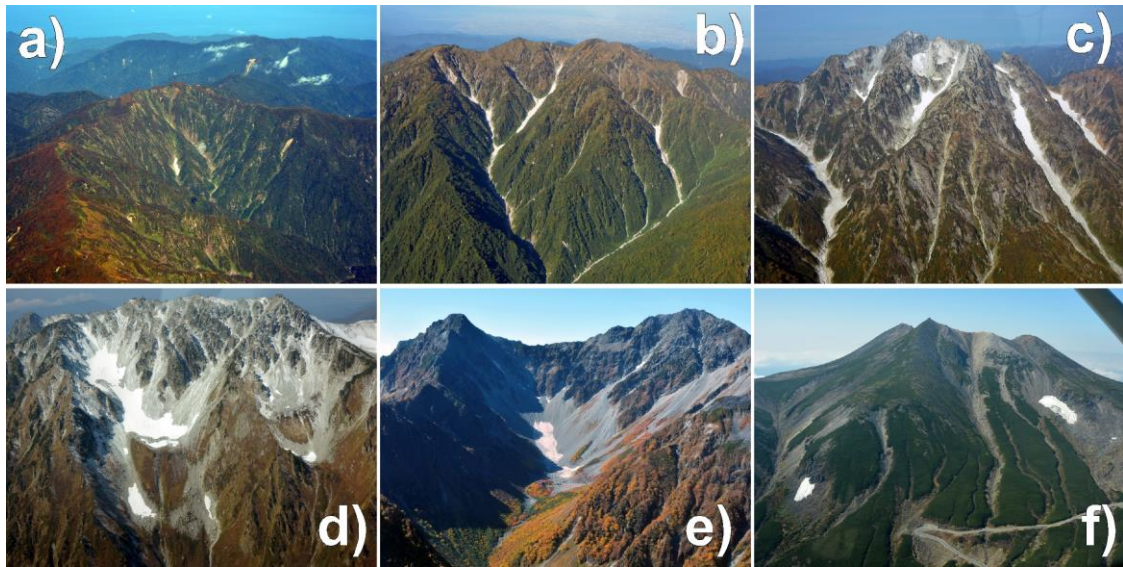


図4 代表的な雪渓。写真は2013年10月。北アルプスをa)からf)へ北から南へと移る。
 a) 犬ヶ岳の雪渓。末端高度が最も低い，b) 毛勝山の雪渓群，c) 劔岳の雪渓群，d) 立山東面の御前沢雪渓，e) 穂高岳，涸沢雪渓，f) 乗鞍岳，大雪渓(右)

(ID : 10101) で北緯 36°53'56.4" に位置し，同時に末端高度が最も低い (1070m) 雪渓でもある。標高 1000m 程度で本州内で残雪が越年した事例は報告がない。北アルプスで最も南の雪渓は乗鞍岳 (ID : 20703) で北緯 36°6'29.2" にある。南アルプスでは北岳北面 (ID : 100103) が北緯 35°40' 31.3" にある。末端高度が最も高い雪渓は槍・穂高連峰 (ID : 20606) で 3020m。比高が最も大きい雪渓は，劔岳西面の池ノ谷雪渓 (ID : 50302) で 810m，面積が最も大きい雪渓，長さが最も長い雪渓ともに後立山連峰の不帰沢雪渓 (ID : 10456) で 18.38 ha，1990m もある。これはヒマラヤの小型氷河と遜色ない規模である。

4-2 劔岳周辺における過去 50 年間の雪渓動態

2013 年に越年性雪渓の分布が特に顕著にみられた劔岳周辺について，国土地理院および林野庁が撮影した空中写真を実体視判読し，過去の雪渓範囲を復元するとともに，過去 50 年間の動態を明らかにした。

判読に用いた空中写真の撮影年月日は次の通りである。1963 年 10 月 4 日，1969 年 9 月 1 日，1977 年 10 月 1 日，1985 年 10 月 15 日，1994 年 9 月 30 日，2009 年 10 月 2 日。1969 年が 9 月 1 日撮影と多少時期が早い。これ以外は 10 月の撮影であり，越年性雪渓の広がりを表していると断定して構わない。したがって，1969 年については越年性雪渓としては「最大値」と解釈せざるを得ない。このほかにも 10 月中の撮影写

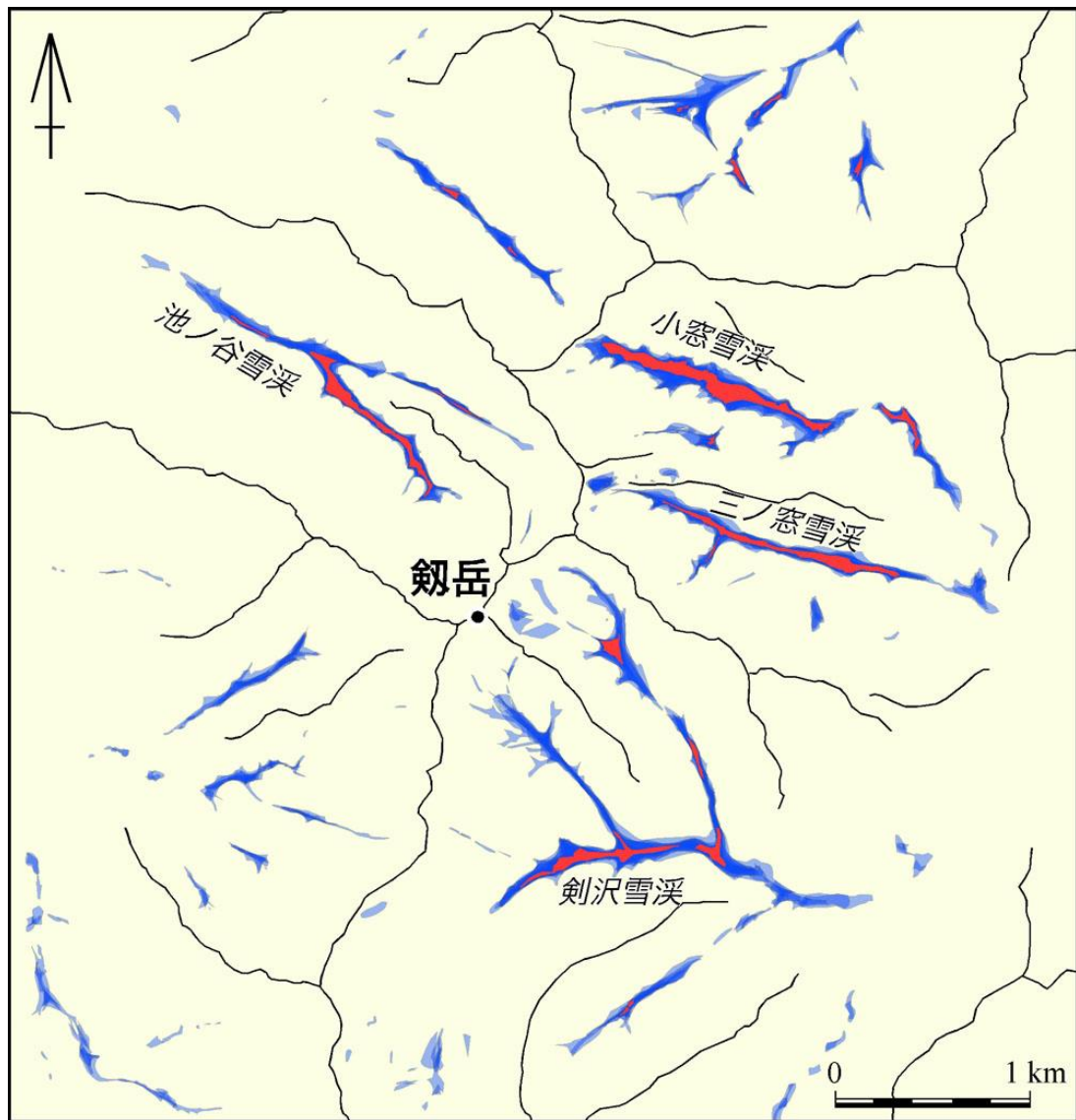


図5 劔岳周辺の1963年以降7年次における越年性雪渓の重なり。色が濃いほど多年次にわたって同じ範囲に雪渓が残存したことを意味する。赤のエリアは7年ともに残存し消失しなかった範囲を表す。範囲の面積は31.7km²。

真はあったが、降雪後の写真であったため利用できなかった。また1:50000程度の比較的小縮尺の空中写真も他の年次に存在するが、きわめて小規模な雪渓まで正確に判読で

表3 劔岳周辺の1963年以降7年次における越年性雪渓面積の変化

年次	1963	1969	1977	1985	1994	2009	2013
小窓雪渓	10.38	12.13	14.63	11.13	12.75	10.06	13.00
三ノ窓雪渓	7.88	9.75	8.81	6.19	9.50	5.75	7.25
劔沢雪渓	11.13	16.50	14.94	5.50	15.88	12.75	14.44
池ノ谷	7.88	8.69	9.25	5.06	10.38	7.81	11.06
全体(図中)	57.69	77.65	79.69	40.81	86.56	57.69	84.06

きない。同じ基準で比較するため、条件が揃う上記の撮影日時の写真に限った。それでも過去50年間で7年次の比較ができた。6年次の雪渓分布を1枚に重ねて表現する(図5)。濃い青色ほど多年次で分布域が重なることを意味する。6年次とも必ず分布していた範囲、つまり比較年次において消雪したことがない範囲を赤で表示する。対象地域31.7km²の広がりの中で、各年次の雪渓面積(合計)および図中の代表的な雪渓である小窓雪渓, 三ノ窓雪渓, 劔沢雪渓, 池ノ谷雪渓それぞれの面積を表3にまとめた。



図6 劔沢雪渓の変化の様子。2013年10月撮影写真に過去の拡大範囲を重ねた。

この結果、面積が最大なのは1994年で86.56 ha、最小は1985年で40.81 haであり、この範囲で年々変化をしている。変化の幅は平均値から±25%の誤差で変動していることになる。またいずれの年次においても消失しなかった面積は19.9 haあった。雪渓の変化は年々の変化が大きいとも考えられうところであるが、実際には1.一定の誤差レンジ(±25%)の中で変化していること、2.いずれの年次においても消失しない面積が一定程度ある。その広がり是最小面積年の50%ほどあることがわか

る。また最大面積の年、1994年で見えた場合、総面積の約3%を越年性雪渓が占めていることになり、この割合はヒマラヤの氷河面積にも匹敵する規模である。越年性雪渓の分布が世界的にも卓越した山域といえる。個々の雪渓に着目すると、劔沢雪渓の年々変化が大きく、小窓雪渓で変化が小さい。これは劔沢雪渓が武蔵谷など支谷を複数もち本流の雪渓と支谷の雪渓が合体しているかいなかで、識別する個体面積が変わってくるのに対し、小窓雪渓は支谷を持たない集水域の細い谷に発達する雪渓であり、雪渓本体の純粋な大きさの変化を反映するからである。

5. 考察

5-1 2013年の雪渓分布

北アルプスおよび南アルプスに計601ヶ所の越年性雪渓が分布していた。これほどの分布が特定の山域から報告されたことは世界にも例を見ない。分布の地理的特徴はそのほとんどが北アルプス主山稜の東側に位置していることである(図1)。目録に記載された、雪渓が位置する斜面方位で598の北アルプスの越年性雪渓の分布方位をまとめると、その8割以上が東北東から東南東の東向き斜面に分布している(図7)。また分布高度を経度に削った緯度断面でみる。ここでは末端高度に着目する(図8)。明確な北下がりになっていることがわかる。実際の事例に当てはめると、後立山連峰では標高2000mを切る谷沿いに多数分布しているのに対し、南部の槍・穂高連峰では主山稜

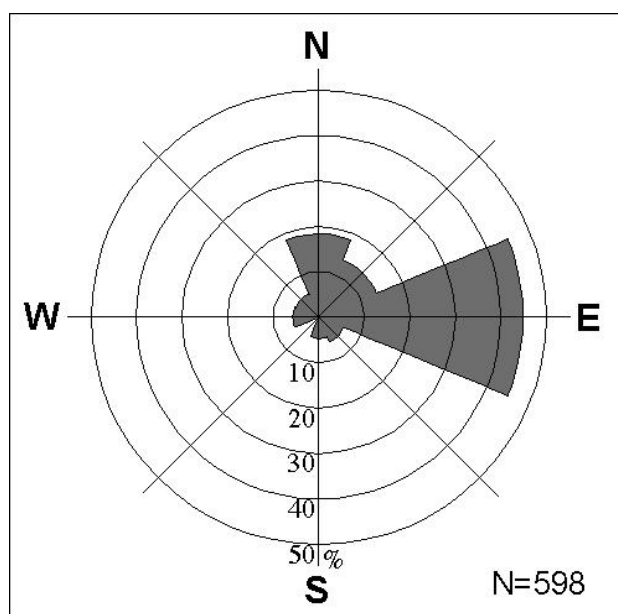


図7 北アルプスにおける2013年の越年性雪渓が位置する斜面方位の出現頻度。総数は598

東側の斜面上に吹きだまっているケースが多数ある。

北アルプスの冬季降雪を俯瞰すると、西高東低の冬型の気圧配置の際、大陸からの寒冷で乾燥した大気が対馬海流の日本海上を吹き抜ける際、大量の水蒸気を吸収し日本海沿岸に多量の降雪をもたらす。このため北アルプスでは北西の季節風によって降雪がもたらされる。したがって西斜面は風衝斜面、東斜面は風背斜面となり、東斜面に吹きだまってより多量の降雪が生じる。このことと雪渓分布の斜面方位による著しい偏りとは整合性が高い。また日本海沿岸ほど降雪が多くもたらされうることと、北ほど分布高度が低いこともまたよく整合する。このことから、晩秋期の残雪＝越年性雪渓の分布にあっても、その分布要因はまず第1に冬季降雪量の多寡があるといえよう。後立山連峰南部、爺ヶ岳、針ノ木岳、蓮華岳は稜線標高が 2500m 以上あり、後立山連峰主部と遜色ないにもかかわらず、分布する雪渓の数・面積ともにきわめて限られる。これは、同山域が剣・立山連峰の風下に位置しているため、降雪の多くが剣・立山連峰にもたらさ

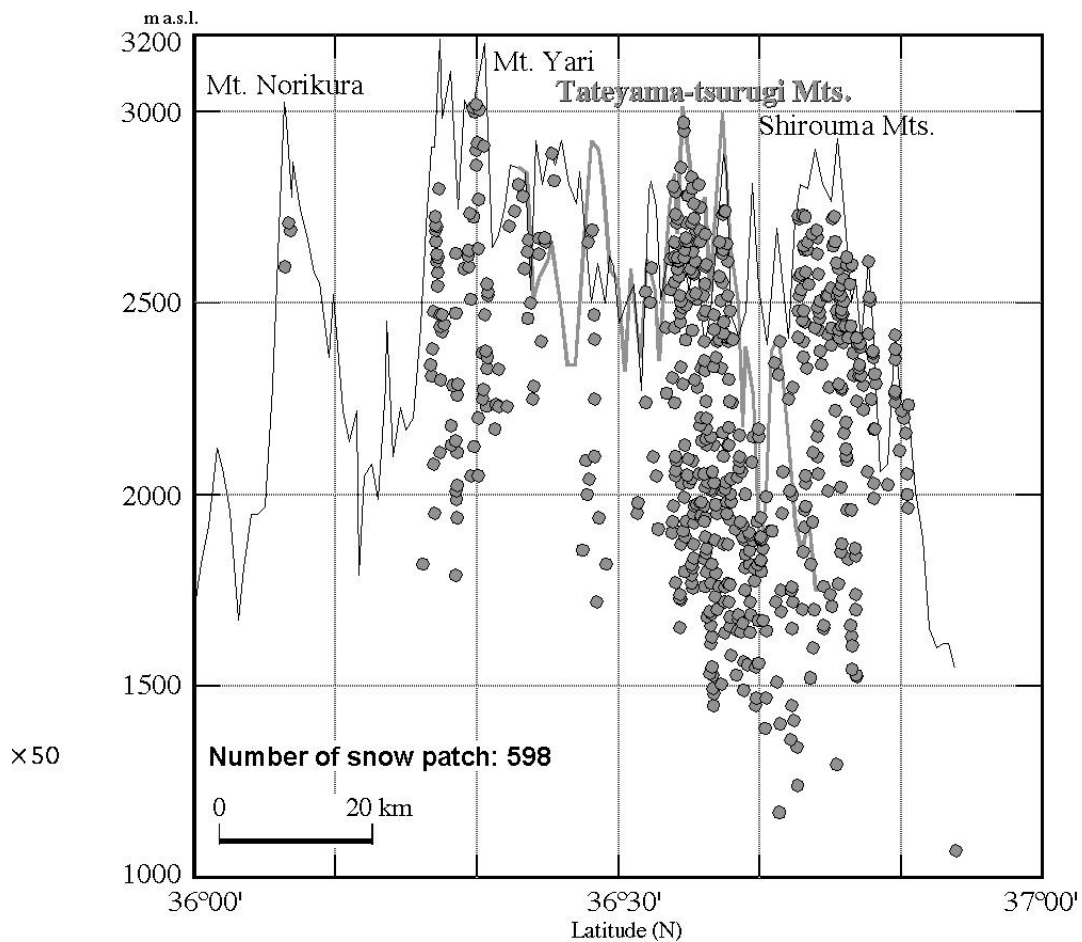


図8 北アルプスにおける2013年の越年性雪渓の末端高度の緯度ごとの分布。総数は598

れ、降雪量が限定されうるという地理的特性ともよく合致する。

このように、越年性雪渓の分布は斜面方位に著しい偏りが、緯度方向で明瞭な北下がり傾向があり、これらは日本海起源の冬季降雪量の多くなる場所とよく合致する。したがって、越年性雪渓成立の第一義的な原因は冬季降雪量の多さにある、といえる。

5-2 剣岳周辺における過去 50 年間の雪渓動態

年々の面積変化をグラフにまとめる（図9）。各年次の越年性雪渓の総面積は年々変化がある。これは雪渓の涵養における多雪年・寡雪年、消耗における多雨年・寡雨年を反映して変化していると推測できる。このため経年変化を単純に気候変動と読み替える

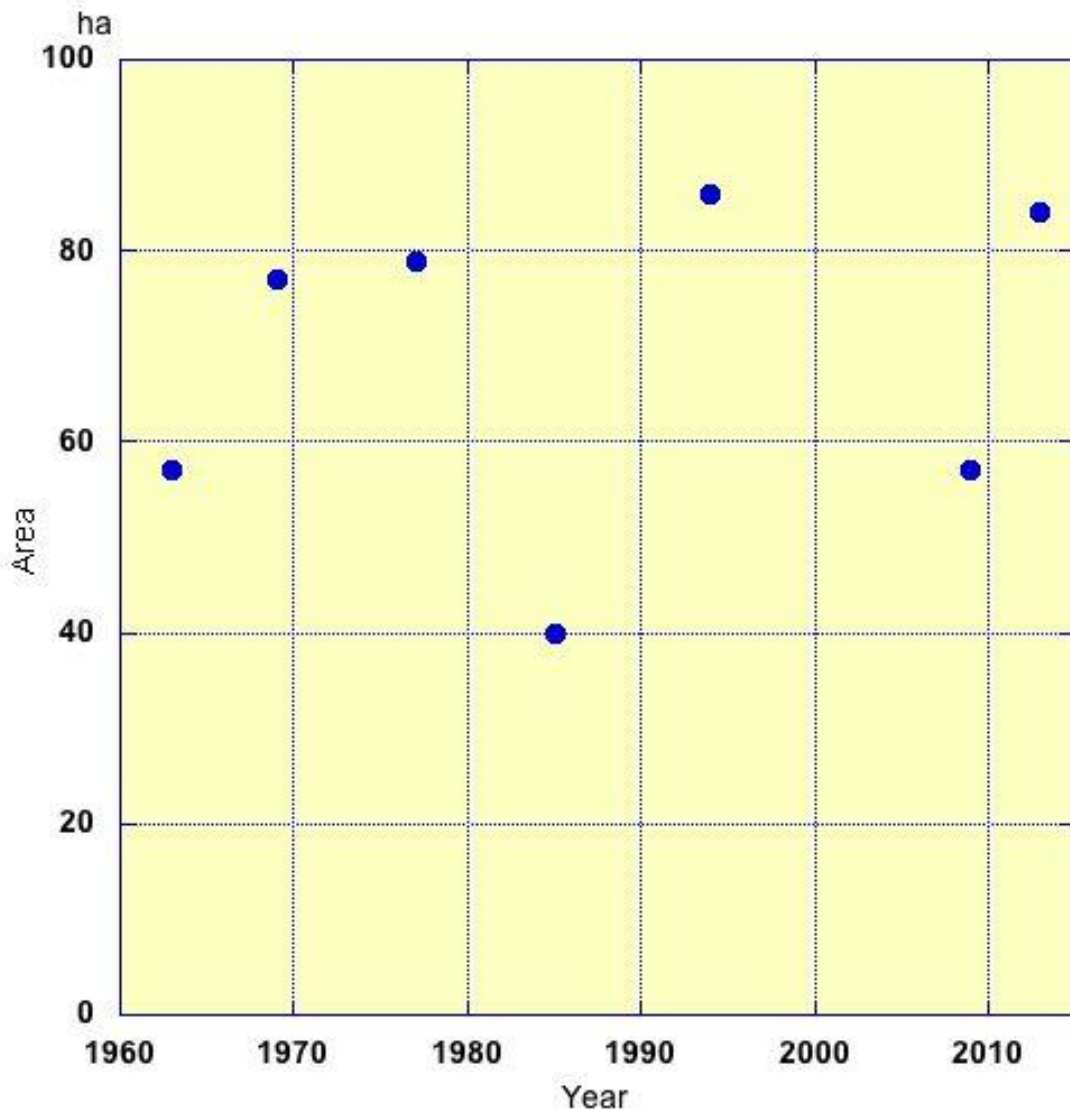


図9 剣岳周辺における越年性雪渓面積の推移

ことはできない。一方、50年間の総観として変化を見た場合、漸増傾向にあるように見える。とりわけ雪渓面積が大きかった年について比較した場合、この傾向がより明確になる。雪渓の涵養過程、消耗過程について高山域での気象データを援用した考察が必須ではあるが、越年性雪渓は微増しつつある様に見える。

図4において赤で示した、7年次いずれにおいても消失しなかった残雪箇所、小窓雪渓、三ノ窓雪渓、池ノ谷雪渓でいずれも大きい。これらは福井・飯田(2012)が「氷河である」とした雪渓である。氷体が残存するための要件として多年次にわたって雪渓が維持されることが前提であるが、その前提条件がここで明らかになった。劔沢雪渓も消失しなかった箇所が多くあるが、この雪渓は上端より上流部に集水域を他の雪渓より広くもち、流水が雪渓下を流れている。すなわち水の流出によるトンネルが雪渓下面に空いており、ここを大気に移流することで顕熱による底面からの融解を生じさせる。そのため雪渓は残存しても、氷体が長期間にわたって維持される環境になく、氷河とはなり得ない。他の消失しなかった雪渓箇所は規模が小さく氷河を形成する大きさが無い。したがって、劔岳周辺では福井・飯田(2012)が指摘した以外には氷河は存在しないであろう。

6. 結論

2013年の越年性雪渓分布を明らかにしたうえで、特に雪渓分布が集中する劔岳周辺について過去50年間の動態を明らかにした。この結果、

1. 秋季の越年性雪渓であっても、その成立要因は第一義的には冬季降雪量の多さ、と考えられる。
2. 2013年の越年性雪渓の個体数は601、総面積は3.61km²あり、世界的にも越年性雪渓の分布が卓越した山域といえる。
3. 劔岳周辺の越年性雪渓の過去50年間の動態について、7年次での面積を比較すると、±25%程度の誤差レンジの中で年々変化しており、最大規模の雪渓越年年である1994年には86.56haの規模があった。また越年性雪渓の総面積のうち19.9haの広がりはいずれの年次においても消失することなく残存した雪渓部分であり、少なくない面積において複数の年次にわたって積雪が残存する。
4. 劔岳周辺の越年性雪渓の過去50年間の動態について、過去7年次の面積の変化は、年々変動があるものの総観的には微増傾向にあると推察される。

以上のことがらわかった。

引用文献

福井幸太郎・飯田 肇 (2012) : 飛騨山脈, 立山・剣山域の3つの多年性雪溪の氷厚と
流動-日本に現存する氷河の可能性について-雪氷, Vol.74, 213-222.