

北アルプス「はまぐり雪雪溪」の調査報告 1967～2006年の年々変動と涵養過程について

樋山 邦治¹⁾、飯田 肇²⁾

1. はじめに

北アルプスをはじめ日本の山岳地域には、冬季に積もった雪が夏季に融けきらず越年する雪溪、いわゆる多年性雪溪がいくつかみられる。多年性雪溪の規模の変動は積雪期および融雪期の気候推移をよく反映し、長期の水文変動を観測する上で都合の良い指標にもなると考えられている(樋口ら, 1979a)。

北アルプスに位置する「はまぐり雪雪溪」(以降はまぐり雪と略す)は多年性雪溪の1つであり、1967年以降、現名古屋大学雪氷圏変動グループのメンバーを中心に現地調査が継続されている。本報告では、これまでの測量結果を用いて1967～2006年のはまぐり雪の積雪深の年々変動と1992年以降の融雪期末期における形状、および1997年の融雪期間内での規模の変化について示す。また、これまで詳しい報告が行われていない涵養過程についても述べる。

2. はまぐり雪の概要と調査方法

(1) はまぐり雪の概要

はまぐり雪は富山県南部、劔岳と立山の間、別山乗越(標高2750m)から北東方向に伸びた、劔沢の源頭部に位置する(図1)。一般的に日本海側の山岳地域は冬季の北西方向からの季節風が卓越することが知られているが、はまぐり雪もその影響を強く受け、吹き溜まりにより多量の雪が供給される。その結果、融雪期初期にあたる6月初めには、はまぐり雪中心部の積雪深は20m以上にもなる。それらの雪は夏季を通して融けきらず、融雪期末期の10月初めにおいても長さ約50m、深さ数mの規模で越年していく。図2に2006年8月18日と10月3日に撮影したはまぐり雪の写真を示すが、1ヶ月半の間にかかなりの雪が融けている様子が見られる。また、越年していく雪溪の形状が貝の「はまぐり」に似ていることから、はまぐり雪という名前がついた。

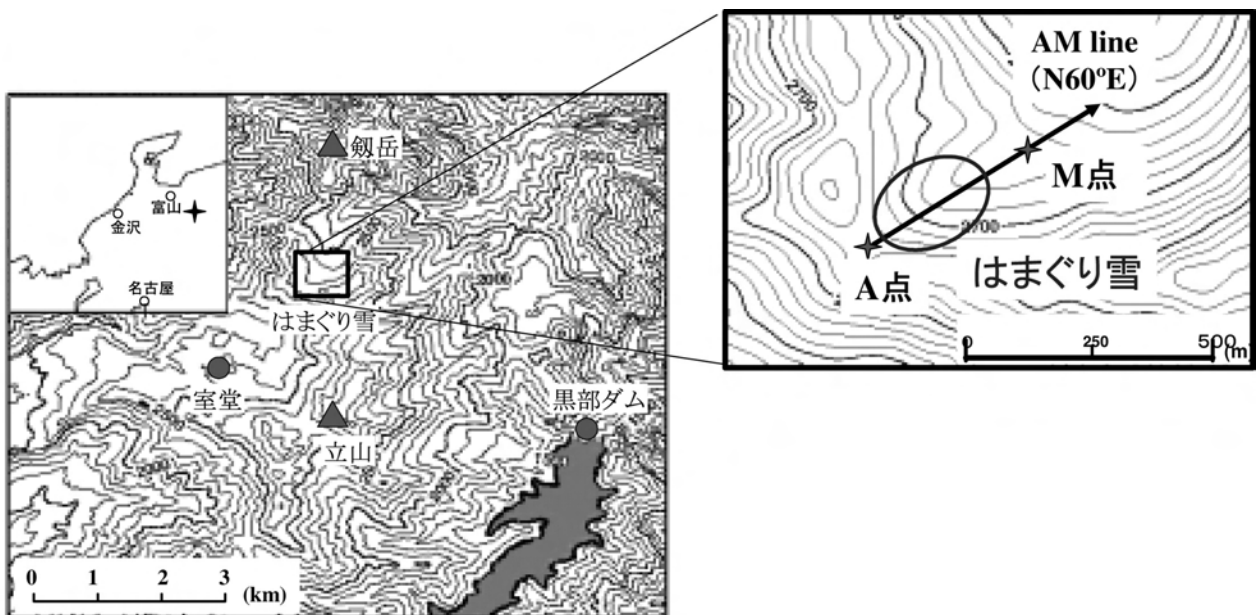


図1. 調査地域と観測地点、はまぐり雪周辺の詳細図

1) 名古屋大学環境学研究科、2) 立山カルデラ砂防博物館



図2. 2006年のはまぐり雪の写真 (左:8月18日 右:10月3日)

(2) 調査方法

はまぐり雪の現地測量は年に2回、融雪期初期にあたる6月初めと末期にあたる10月初めに行われている。融雪期初期は、稜線上のA基点からN60°E方向にあるM基点を結ぶ基線(以降、AM lineと呼ぶ、図1)上の、A基点に対する雪渓表面の相対高度が測られている(以降、断面測量と呼ぶ)。融雪期末期は、断面測量に加え、雪渓外形の輪郭の測量も行われている。測量方法は、1990年代半ばまではポケットコンパス、巻尺、トータルステーションを用いて行われていたが、それ以降はデジタルの光波測距儀を用いている。従って、観測測器による誤差が微小ながら含まれている可能性があるが、これについての補正は行っていない。また、AM lineは、融雪期末期に例年残る雪渓のほぼ中心部分を通っている(樋口ら, 1979b)。

断面測量からAM line上の積雪深を求めるためには、基盤のA基点に対する相対高度のデータが必要となる。そこで、1980年と1990年の融雪期末期に、AM line上の雪渓の深さを細かく測り、雪渓表面の測量データからその値を引き、AM line上の基盤の相対高度を求めた。そして、毎年断面測量の結果と基盤の相対高度との差をとることで、年々の雪渓の厚さを求めていった。

これらの測量に加え、1968,69,97,2005,06年の融雪期には現地の気象観測などを含めた集中観測が行われ、それらの結果は、森林・樋口(1980)、長田(1997)、樋山(2007)に掲載されている。

3. はまぐり雪の季節変動と年々変動

(1) はまぐり雪の季節変動

図3に、1997年の融雪期間における、基盤を含めたAM line断面と雪渓の形状の季節変化を示す。融雪期初期の6月初めには、剣沢一体が積雪で覆われるため、明確な形状を示してはいない。しかし、融雪の進行とともに残雪の占める面積が減少していき、連続した雪面は分断され、閉じた外縁を示すようになる。そして、融雪期末期の10月初めには、剣沢の最上部のみに積雪を残し越冬していく。また、2005年と2006年の融雪期においても、同様の時間変化の様子が観測されている。

(2) 積雪深の年々変動

図4に、融雪期初期・末期における1967～2006年のはまぐり雪の積雪深の年々変動を示す。ここで、積雪深は基点AからAM line上の50～100mの範囲の平均をとって与えている。この範囲は、融雪期初期のAM line上で積雪深が最大になり、かつ融雪期末期に例年積雪が残る部分でもある。積雪深の年々変動は大きく、融雪期初期の積雪深が最大であった1993年の24.9mと、最小であった1980年の11.7mの間には倍以上の差がある(平均 $a=19.3\text{m}$ 、標準偏差 $\sigma=2.8\text{m}$)。融雪期末期では、1996年の9.5mが最大であり、最小は1998年の0.3mと消失しかけたことがわかる($a=3.5\text{m}$ 、 $\sigma=2.2\text{m}$)。また、長期的なトレンドは見受けられないが、1990年代後半以降、融雪期初期の積雪深が大きくなる傾向にある。

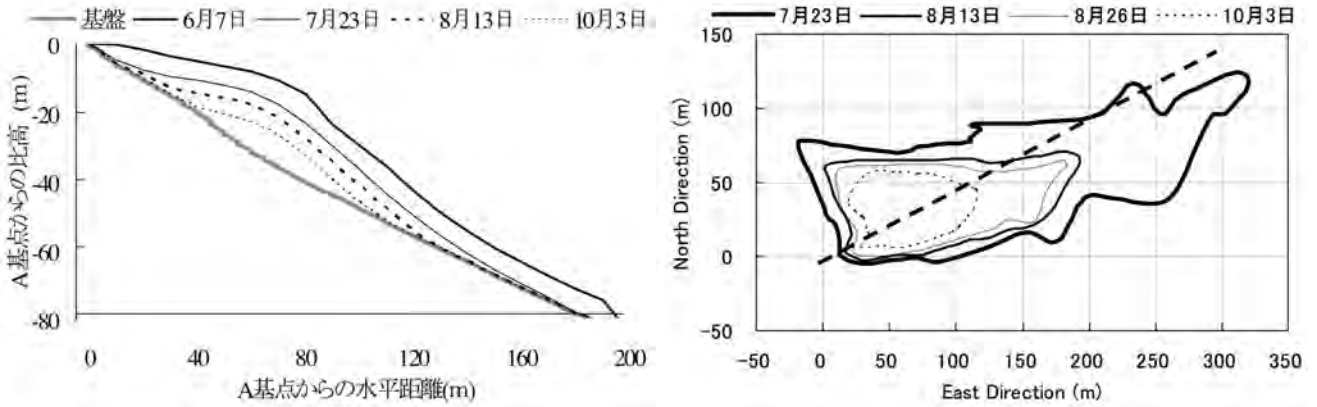


図3. 1997年の融雪期における、AM line断面（左）と形状（右）の時間変化
（(0, 0)の点はA基点を、右図の直線はAM lineを示す）

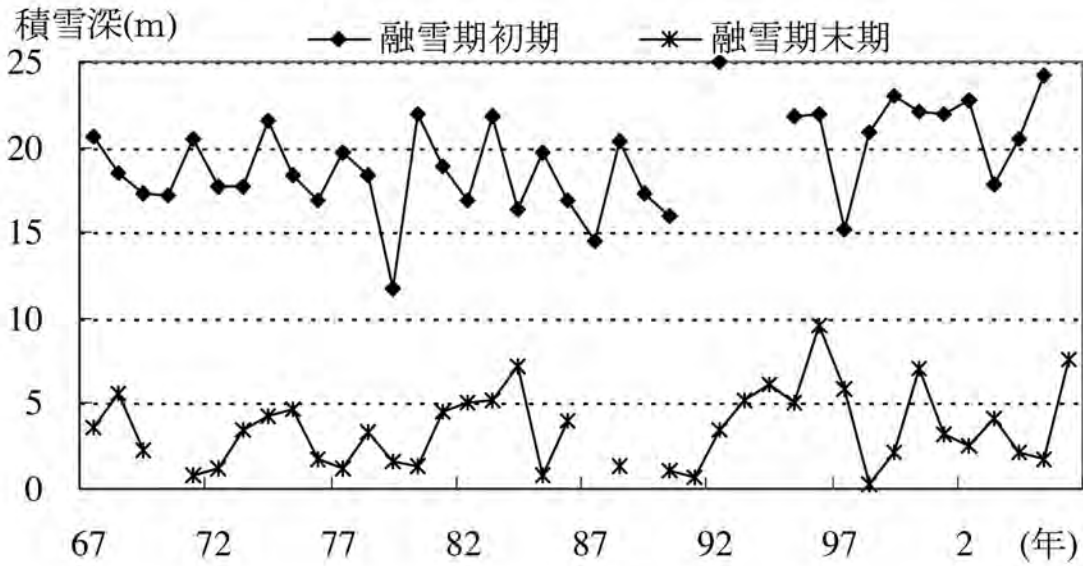


図4. 積雪深の年々変動 (1967～2006年)

(3) 融雪深・涵養深の年々変動

図5に、1967年以降の融雪深と涵養深の年々変動を示す。ここで、融雪深は融雪期初期と末期の積雪深の差を、涵養深は融雪期初期と前年の融雪期末期の積雪深の差をとってそれぞれ与えている。積雪深と同様に年々変動は大きく、融雪深が最大であったのは1993年の19.7mで、最小であった1980年の10.4mとは、10m近い差があった ($a=16.0\text{m}$, $\sigma=2.2\text{m}$)。一方、涵養深が最大であったのは2005～06年の21.6mで、最小であった1984～85年の9.3mとは倍以上の差となっている ($a=16.2\text{m}$, $\sigma=3.5\text{m}$)。

このように、融雪深に比べ涵養深の年々変動は大きくなっているが、平均値に差はほとんどない。すなわち、毎年、涵養量と同じくらいの雪が続く融雪期において融けるというプロセスが繰り返されることで、雪溪が消失することなく越年し続けていると考えられる。なお、長期的なトレンドは見受けられないが、1995年以降は融雪深と涵養深とも有意ではないが増加傾向にある ($r=0.49, 0.63, P=0.151, 0.053$)。

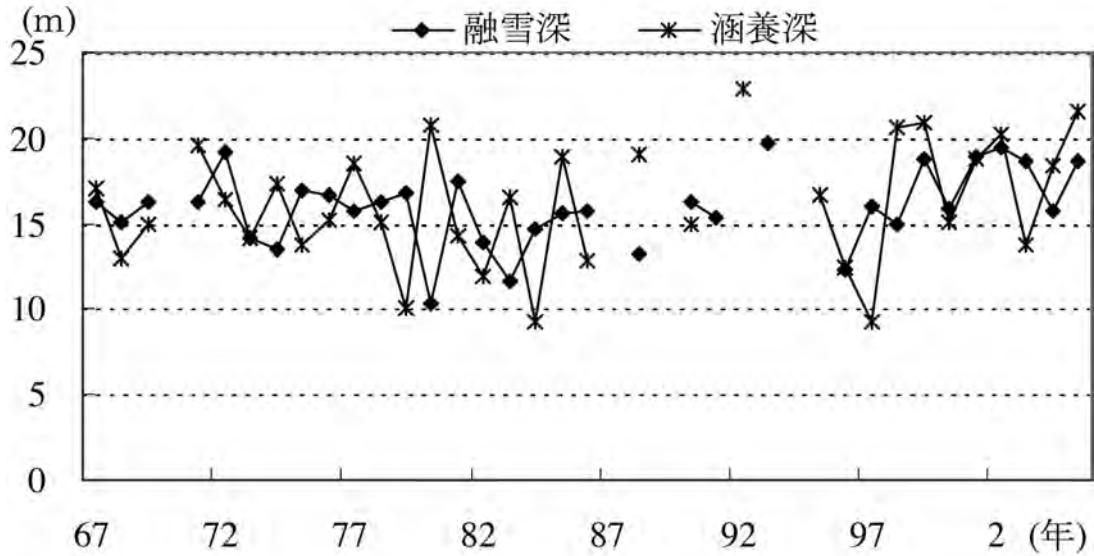


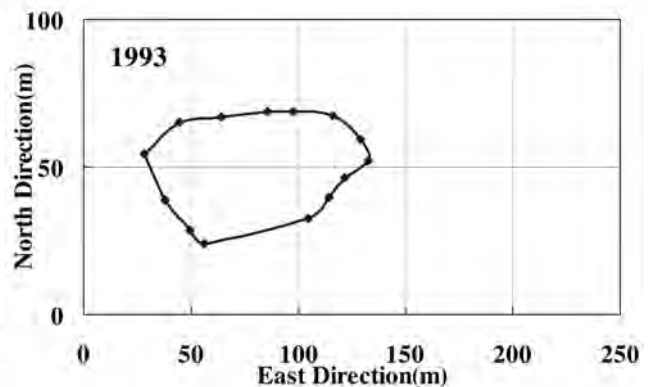
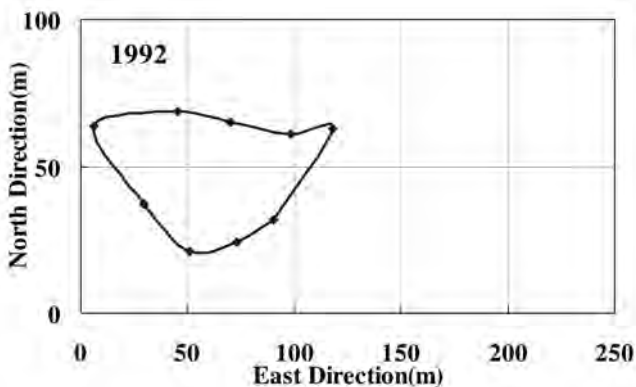
図5. 融雪深・涵養深の年々変動 (1967～2006年,涵養深は例えば2000年であれば、1999年秋～2000年春までの値を示す)

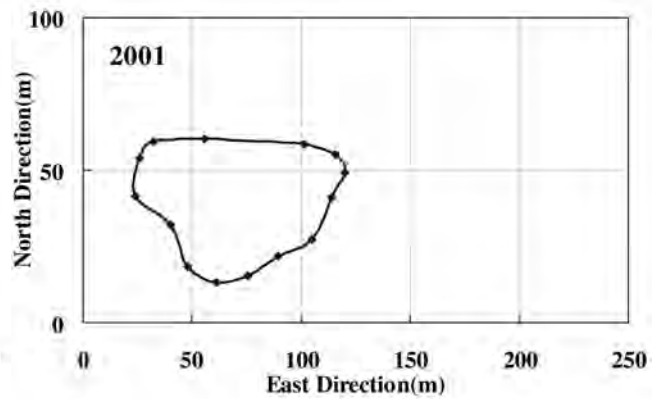
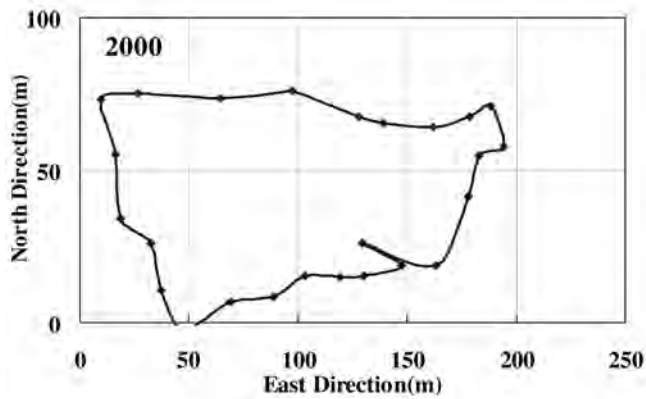
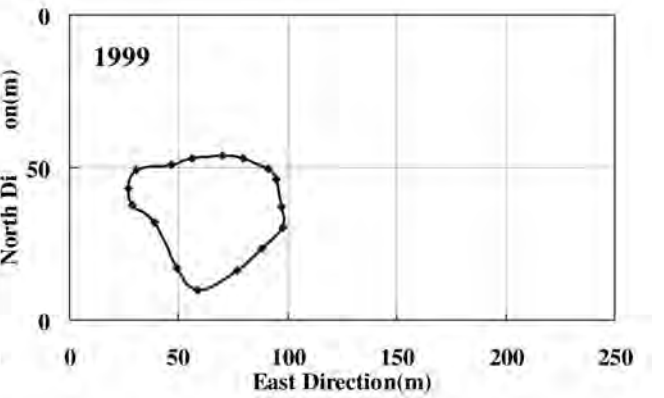
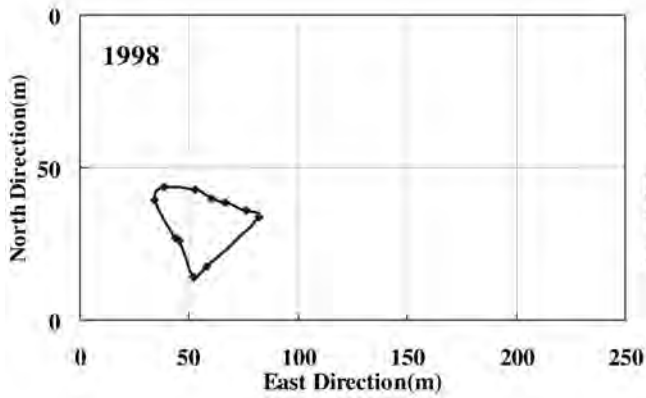
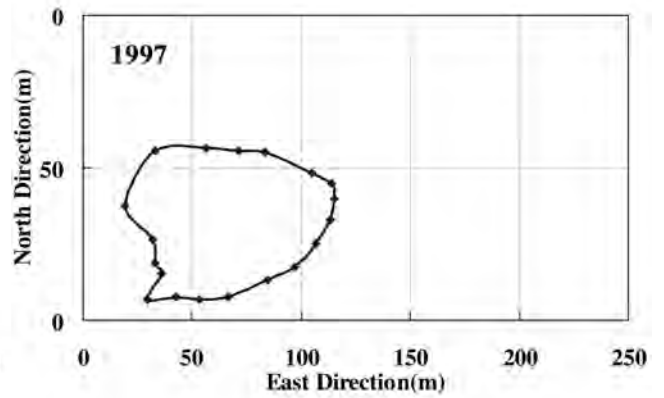
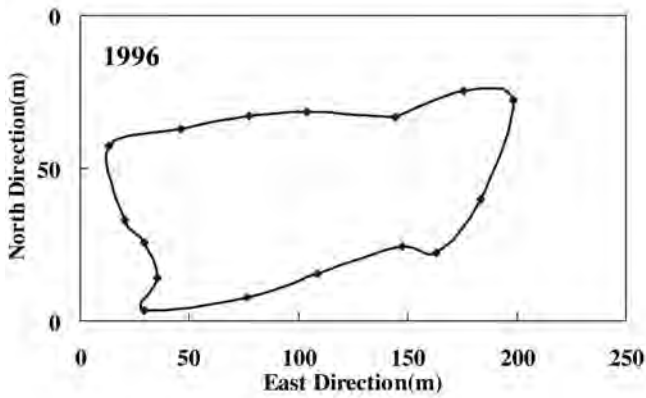
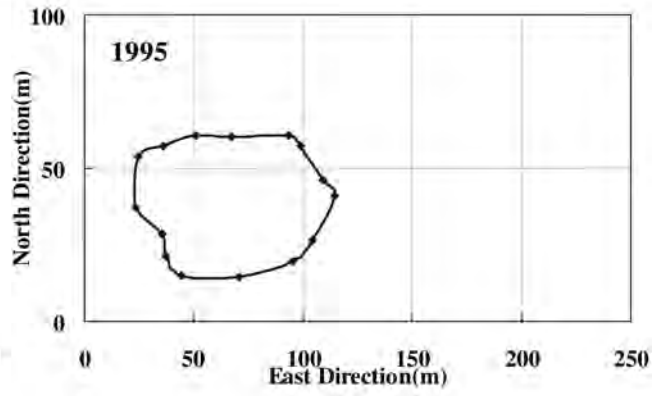
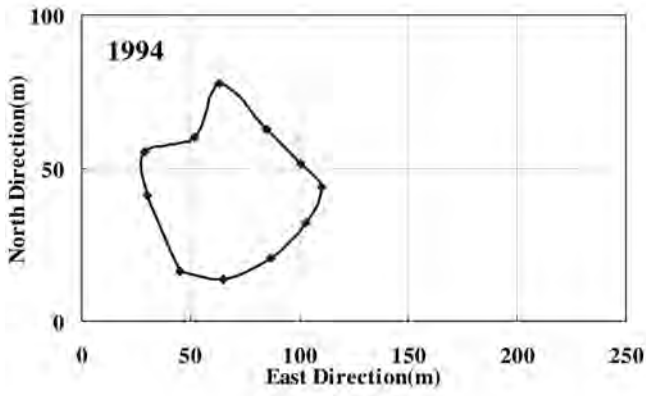
(4) はまぐり雪の形状と、その年々変動

1967年以降の融雪期末期におけるはまぐり雪の形状のうち、1967～91年までの結果は Ohata et al. (1993) で公開されている。そこで、本稿では1992～2006年までの結果を報告する。図6は、融雪期末期の測量により得られたはまぐり雪の年々の形状である。図3と同様に、図中の(0,0)はA基点の位置を、縦軸がA基点から北方向、横軸が東方向をそれぞれ表している。1997年の時間変化の結果でも示されていたように、融雪期末期において雪渓が残っている範囲は剣沢の最上部のごく狭い範囲であることがわかる。しかし、1996年や2000年のように、比較的下流部まで雪渓が残り越年したと思われる年もある。この2年の融雪期初期の積雪深は特別に大きくはなかつ

たことから、融雪期間の気象状況が融雪に不利に働いていたことが考えられる。一方、雪渓が消失しかけた1998年は、融雪期初期の積雪深が小さかったことが関係している可能性もある。このように年々の融雪量の変動は、夏季の気象状況だけでは説明できない複雑な過程の基で成り立っていると考えられる(樋山, 2007)。

図7は、1967～2006年までの台形面積法で求めた融雪期末期の形状の面積の年々変動を示している。この図より、融雪期末期のはまぐり雪の面積は減少トレンドを示していることがわかる ($r=-0.34, P=0.033$)。しかし、1990年代以降は変動が大きく、値も以前に比べ横ばいとなっている。





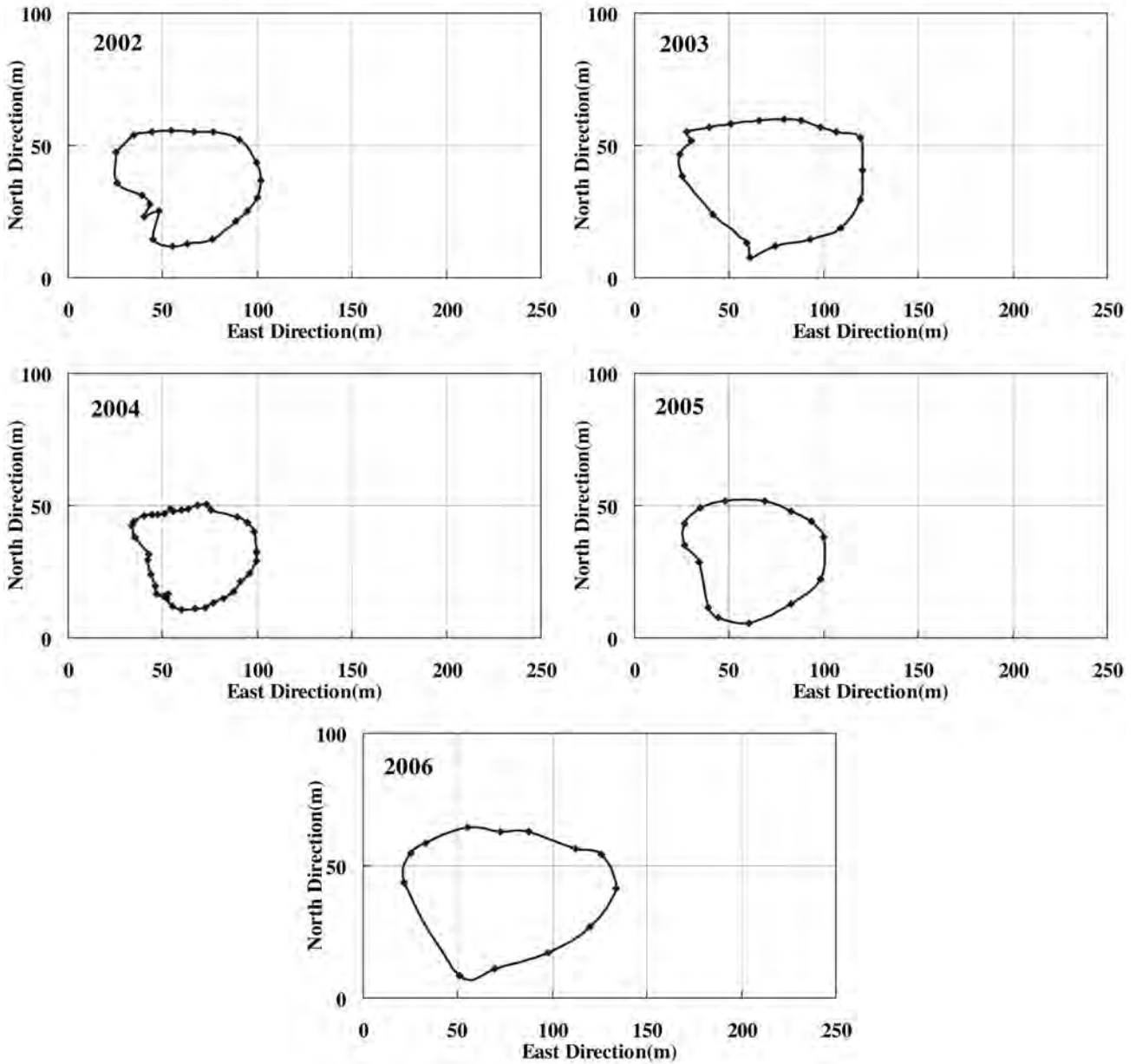


図6. 融雪期末期における、はまぐり雪の形状 (1992~2006年)

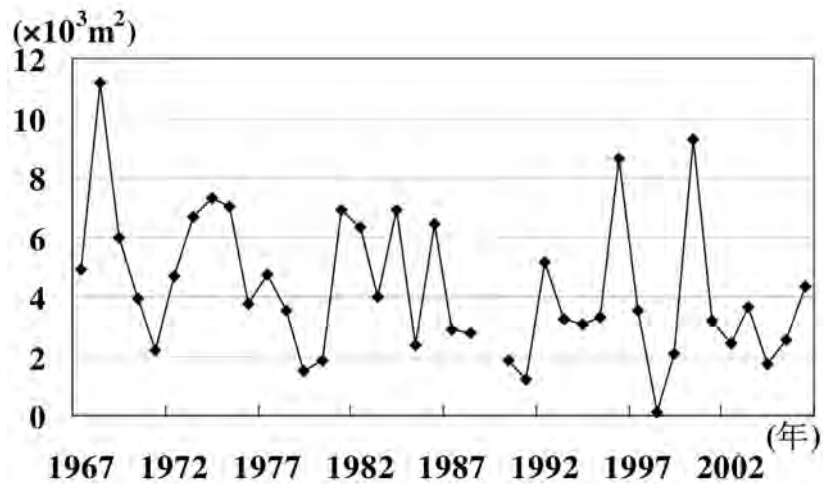


図7. 融雪期末期のはまぐり雪の形状の面積の年々変動 (1967~2006年)

4. 涵養過程

図5に示したように、はまぐり雪の涵養深の年々変動は大きいですが、1993年と2006年を除いて、融雪期初期の積雪深が22m程度で頭打ちになっている様子が見られる(図4)。Glazirin et al. (2004)は、涵養期初期の積雪深が小さいほど、続く涵養期の涵養深が大きくなることを示し、その負の関係は北海道のヒサゴ雪溪や鳥海山の貝型雪溪でも成り立つとしている。また、その原因として、吹き溜まり型の雪溪は積雪深の増加に伴い吹き溜まる雪の量が少なくなると述べている。すなわち、吹き溜まり型雪溪では積もることの出来る雪の深さには限界があり、はまぐり雪ではそれが約22mであると考えられる。

この特徴の要因を明らかにするためには、はまぐり雪の涵養期間における積雪・気象データが必要である。しかし、はまぐり雪が北アルプスの稜線直下に位置しているという地理的条件や冬季の厳しい気象条件を考慮すると、涵養期での現地集中観測は現実的には不可能といえる。そこで、黒部ダム(標高1450m)や室堂(標高2450m)で観測されている積雪・気象データを用いながら解析を行っていく。

(1) 涵養時期からの議論

はまぐり雪の積雪深には約22mという限界があると思われることから、涵養が涵養期間内のある時期にほとんど完成していると考えられる。また、総観場や周辺の気象状況により、涵養が進みやすい時期が限られている可能性もある。

図8は室堂と黒部ダムにおける12月1日～4月30

日の積雪深の時間変化を、図9は日平均気温の日々変化をそれぞれ示すが、室堂では3月終わりに、黒部ダムでは2月半ばに最大積雪深を記録している。ここで、図8,9の値は、1996～2005年の10年間の平均値を用いており、黒部ダムでは日平均気温を記録していないため、最低気温と最高気温の合計を2で除し日平均気温として与えている。図9より、黒部ダムの2月半ばの気温は室堂の3月終わりの気温とほぼ等しく、図では示していないが黒部ダムの3月の降水量の6割以上は降雪量である。すなわち、標高差による気温差により黒部ダムでは3月以降降雪量が涵養量を上回り、最大積雪深を観測する時期の違いが生じたといえる。そして、室堂より標高が300m高いはまぐり雪では、少なくとも3月終わりまでは降雪が続いていると考えられる。

続いて、1980年以降のはまぐり雪の涵養深と室堂の1,2,3,4月終わりの積雪深との相関係数を調べたところ、最も相関がよかったのは2月終わりの積雪深であった。このことは、はまぐり雪の涵養が2月終わりの時点でほとんど完成されている可能性を示唆している。すなわち、はまぐり雪では少なくとも3月終わりまでは降雪が続いているが、3月以降の降雪は、はまぐり雪の涵養にほとんど影響していないといえる。

以上をまとめると、はまぐり雪の涵養時期の中心は降雪が始まる11月から2月までの4ヶ月間であり、3月以降は涵養が頭打ちになっていると思われる。しかし、積雪深が22mに達していない年も多数あることから、これらの年は3月以降も涵養が進んでいる可能性がある。

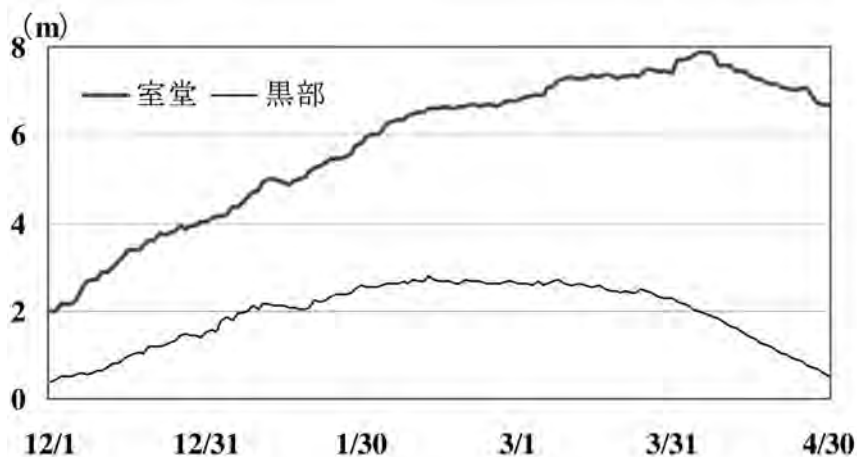


図8. 室堂と黒部ダムの積雪深の日々変化(12/1～4/30, 1996～2005年の平均)

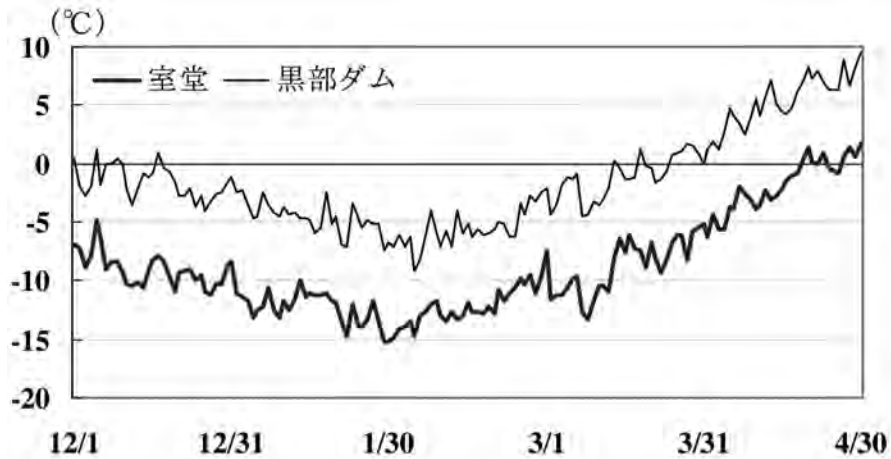


図9. 室堂と黒部ダムの気温の日々変化 (12/1~4/30, 1996~2005年の平均)

(2) 総観場からの関係

1980年以降の黒部ダムの11~2月までの総降雪量とはまぐり雪の涵養深との関係を調べたところ、有意な正の相関関係にあった($\alpha = 0.05, r = 0.54$)。すなわち、黒部ダムの降雪量がそのままはまぐり雪での積雪量を表しているとはいえないが、代表値として用いることは可能であると考えた。そこで、黒部ダムで多量の降雪が観測された日の総観場の特徴を見てみる。

図10は、黒部ダムの日降雪量が0.6m以上の日を取り出し、その平均海面気圧場を示したものである。対象期間は1996年12月~2006年2月の12~2月で、降雪量の条件には12日が当てはまった。用いたデータはアメリカ大気海洋センター(NCEP)の再解析データで、グリッドは $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 、範囲は $90^\circ \sim 180^\circ \text{E}, 0^\circ \sim 80^\circ \text{N}$ である(Kalney et al., 1996)。また、図10に

は1968~96年の39年間で平均した12~2月の平均海面気圧場も示す。図11は、気象庁発行の9時の地上天気図を参考にし、図10の降雪量の条件に当てはまった12日間の低気圧の位置を示している。範囲は $120^\circ \sim 170^\circ \text{E}, 20^\circ \sim 60^\circ \text{N}$ で、一日に複数個の低気圧がある場合、代表的な12個を取り出し記載している。これらの図より、降雪量が0.6m以上と特に多かった日は低気圧が東日本から日本の東海上に位置し、日本付近は等圧線の密な範囲に覆われ、その方向は北北西から南南東に伸びていることがわかる。すなわち、日本付近を低気圧が通過した冬型初期から最盛期にかけて、はまぐり雪には多量の降雪がもたらされ、その時の風速は強く、風向は冬季平均に比べ南よりになっていると考えられる。

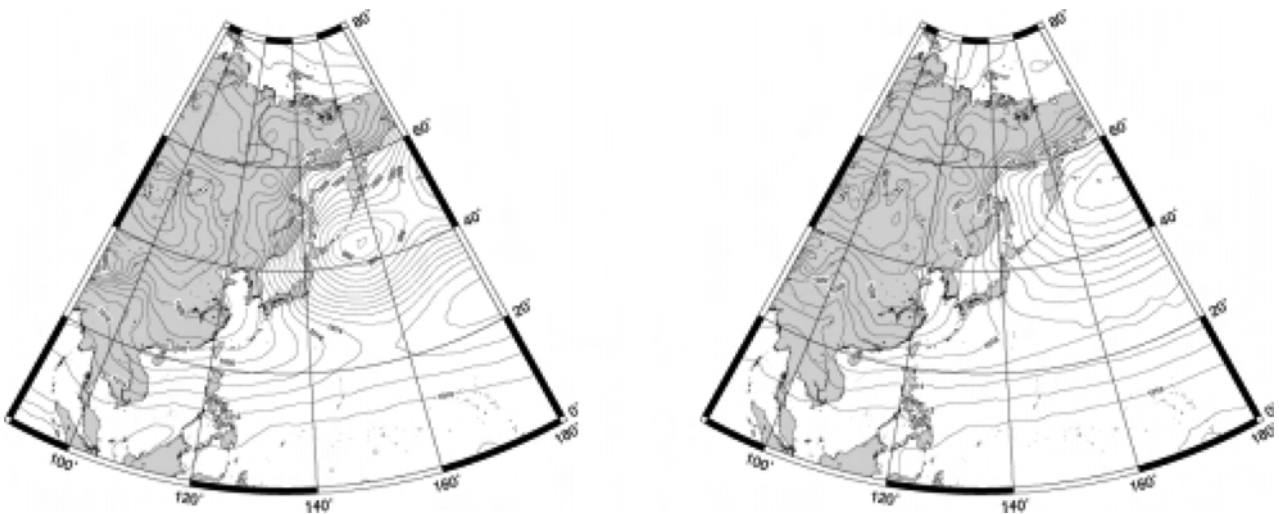


図10. 黒部ダムの降雪量が0.6m以上の日(左)と12~2月(右)の平均海面気圧場(特に降雪の多い日:12日 右は1968~96年平均)

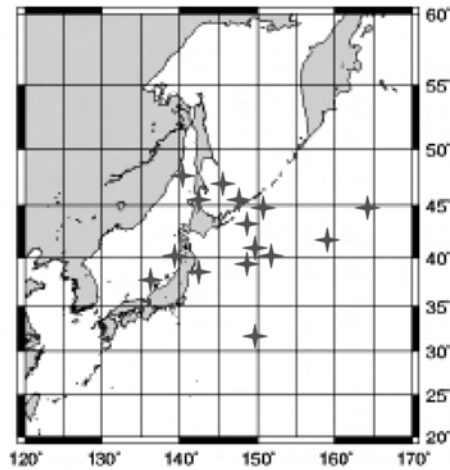


図11. 黒部ダムの降雪量が0.6m以上の日の低気圧の位置

(3) 涵養時期と総観場を合わせた議論

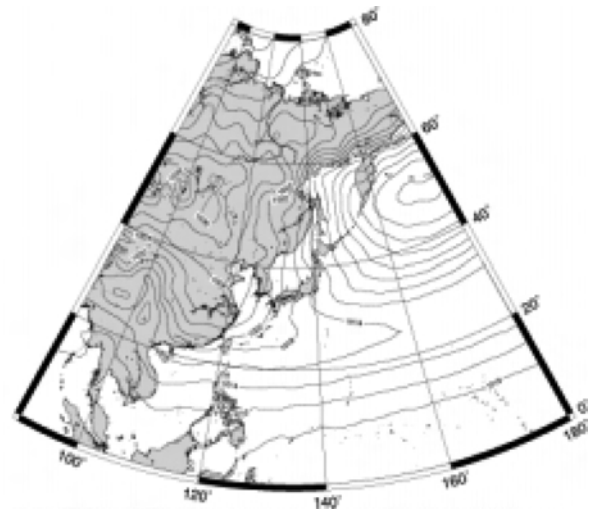
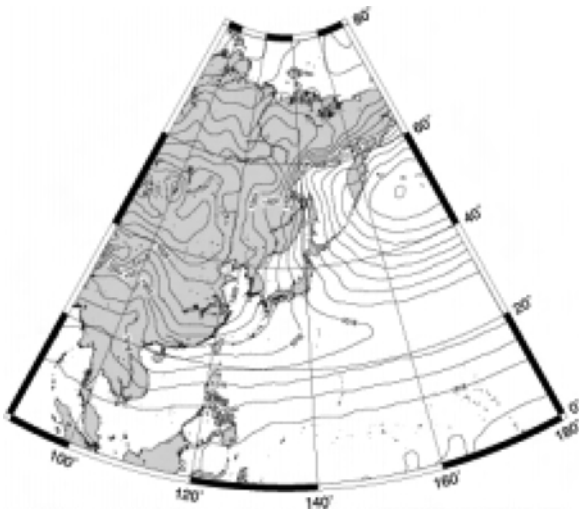
これまでの議論で、はまぐり雪の涵養期間は11～2月の4ヶ月間で、冬型初期～最盛期の気圧場で涵養が最も進むことがわかった。すなわち、はまぐり雪に多量の降雪がもたらされる気圧場は2月末までに発生しやすいと考えられる。そこで、月単位でどのような気圧場が卓越しているかを調べていく。

図12に、1968～96年の39年間で平均した12～3月の海面気圧場の月平均図を示す。12～2月の3ヶ月間は西高東低の気圧配置で、日本付近で等圧線が南北に走り間隔も狭い。一方3月は大陸から高気圧が張り出し、西高東低の気圧配置が崩れ等圧線の間隔も広がっている。このように、2～3月を境に日本付近の気圧場が変化し、はまぐり雪の涵養が進みにく

くなると考えられる。

次に黒部ダムの降雪量が0.2m以上であった日（多降雪日）を抽出し、月ごとに全日数で除し12～3月の多降雪日の出現確率を求めてみたところ、それぞれ15.4,20.1,13.3,8.6%であった。抽出した期間は、1996年12月～2006年2月までの12～3月である。黒部ダムにおける12～3月までの降水量の大部分は降雪量であるが、3月は多降雪日の出現確率が低くなることで、はまぐり雪でも2月までに比べ3月以降は涵養が進みにくい傾向にあると考えられる。

このように、2～3月にかけて日本付近で冬型の気圧場が生じにくくなり、多降雪となる日数が減ることが、2月末までにはまぐり雪の涵養がほぼ完成する要因であるといえる。



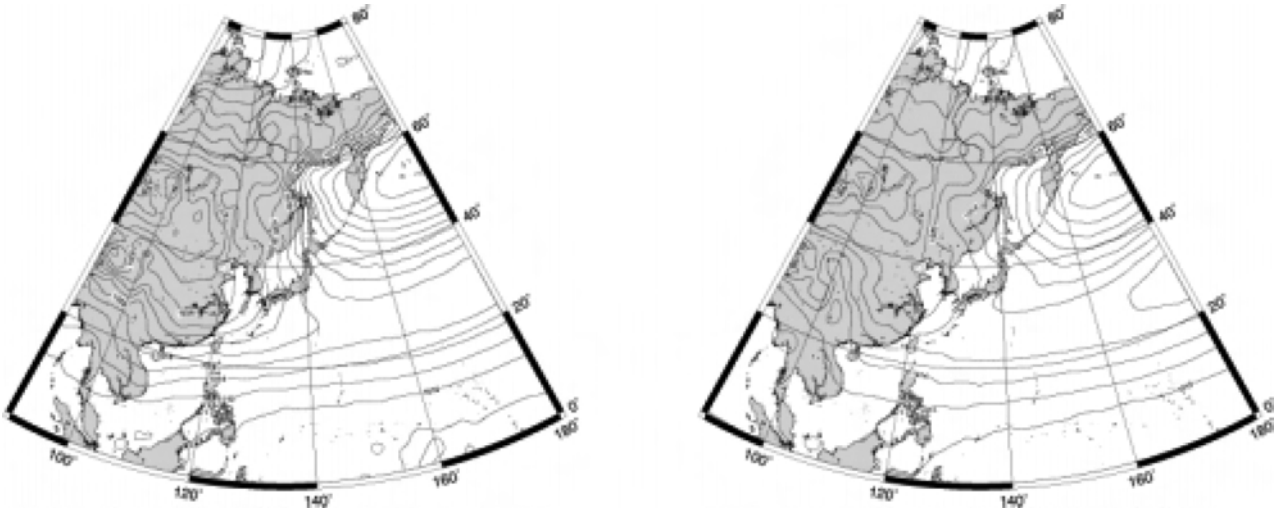


図12. 12～3月の月平均海面気圧場（1968～96年平均）
（前ページ左:12月 前ページ右:1月 左:2月 右:3月）

4. おわりに

今回の報告では、1967年以降測量が続けられているはまぐり雪の年々変動の特徴と涵養過程について述べた。これまで、はまぐり雪の調査は延べ40人もの人々によって40年近くにわたり継続されている。その間、海外の氷河を中心に雪氷に関する多量の情報が蓄積されてきた。今後雪氷に関する研究は、山岳氷河の融解が海水面の上昇に大きく寄与していることなど、地球温暖化問題の研究の一環として、ますます注目されていくものと思われる。その研究対象の一部としてはまぐり雪の調査を継続し、多年性雪渓の変動と気候変動との関係性や、多年性雪渓が水資源に与える影響を明らかにしていきたい。

謝辞

今回の報告にあたり、関西電力北陸支社の西島潤氏には貴重な黒部ダムの積雪・気象データを提供して頂いた。ここに記して心からお礼申し上げます。

参考文献

Glazirin, G. E. Kodama, Y. and Ohata, T. (2004) : Stability of drifting snow-type perennial snow patches. *Bull. Glaciol. Res.*, 21, 1-8.

樋口敬二・大畑哲夫・渡辺興亜 (1979b) : 日本における雪渓の地域的特性 (II) 剣沢圏谷, 多年性雪渓はまぐり雪の規模の変動. *雪氷*, 41, 77-84.

樋口敬二・若浜五郎・山田知充・成瀬廉二・佐藤清一・阿部正二郎・中俣三郎・小岩清水・松岡春樹・伊藤文雄・鷺坂修二・渡辺興亜・中島暢太郎・井上治朗・上田 豊 (1979a) : 総合報告-日本における雪渓の地域的特性とその変動. *雪氷*, 41, 181-197.

樋山邦治 (2007) : 北アルプス「はまぐり雪雪渓」における融雪・涵養過程の研究. 名古屋大学大学院環境学研究科修士論文. 94pp.

Kalney, E. M., and Coauthors (1996) : The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471.

森林成生・樋口敬二 (1980) : 剣沢における多年性雪渓の研究 (II) 剣沢圏谷の夏季の気候と融雪過程. *雪氷*, 42, 119-146.

長田充弘 (1997) : 北アルプスの多年性雪渓, はまぐり雪の形状と融雪量・融雪量分布の変動の研究. 名古屋大学大学院理学研究科修士論文. 32pp.

Ohata, T., Yabuki, H., Higuchi, K., Watanabe, O., Takenaka, S., Iida, H. and Takahara, H. (1993) : Variation of perennial snow patch "Hamaguri-yuki" from 1967 to 1991. *Research Report of IHAS No. 1, Institute for Hydrospheric-Atmospheric Sciences, Nagoya Univ.*, 43pp.

【要 旨】

1967年以降測量が継続されている、北アルプスはまぐり雪雪溪の年々変動の特徴と涵養過程についてまとめた。融雪期初期の積雪深の平均値は19.3m、末期は3.5mであり、年々変動は大きく、積雪深の最大年と最小年の間には10m程度の差が生じていることがわかった。融雪期末期のはまぐり雪の形状の面積は1990年ころまでは減少トレンドを示していたが、それ以降は横ばいで推移している。はまぐり雪中心部の積雪深には22m程度の限界深が存在し、涵養は西高東低の冬型の気圧配置が卓越し、多量の降雪がもたらされる2月までにほとんど完成する。