



Title	小流域の放牧地における融雪流出：傾斜草地に関する農業土木的研究(IV)
Author(s)	桜田, 純司; Sakurada, Junji; 梅田, 安治 他
Citation	北海道大学農学部牧場研究報告, 14, 29-41
Issue Date	1990-02-20
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/48931
Type	departmental bulletin paper
File Information	14_29-41.pdf



小流域の放牧地における融雪流出

— 傾斜草地に関する農業土木的研究 (Ⅳ) —

桜田 純司・梅田 安治・李 里漫

(北海道大学農学部農工学科)

要 旨

桜田純司・梅田安治・李 里漫(1989)小流域の放牧地における融雪流出—傾斜草地に関する農業土木的研究(Ⅳ)—, 北大農学部牧場研究報告14:29~41。

北海道大学農学部附属牧場において蹄耕法で造成された放牧地と一部放牧地を含む林地の二つの小流域を設定して, 春先の融雪流出および秋期の降雨流出を観測した。また, 同時に牧場内の土地利用状況と浸入度などの関係を見た。

流域の融雪流出は融雪流出の他に融解流出を考慮する必要がある。放牧地は林地より積雪が少ないが, 凍結が深く, 融雪係数および融雪ピーク流出量は大きい。

流域の降雨流出現象は, 降雨に対する出水が速く, 流出ピークの型が鋭い。また, ピーク流量は基底流出に対してきわめて大きい。

浸入度は, 混牧林地が一番大きく, 次に採草地, 蹄耕法造成の放牧地, 放牧地の順になる。

キーワード: 小流域, 林地, 放牧地, 流出, 融雪流出

1. はじめに

積雪寒冷地域では春先の融雪・融解により農地の侵食等が発生するといわれている¹⁾。融雪流出に関する多くの研究は, 大流域で日単位の気象および流量観測資料に基づいて, 比較的マクロな視点からの研究が多く進められている。これは研究の大部分が河川・治水などを目的とすることが多かったためであろう。しかし, 改良山成畑, 傾斜放牧地など小範囲の融雪・融解による侵食・排水問題などに関しては流出域自体が問題となるため, 圃場あるいは小流域等の極めて小面積について融雪流出特性などの検討を進める必要がある。融雪流出および流域の流出形態の基本形を明確にするため, 北海道大学農学部附属牧場で放牧地と自然林地の二つの調査流域を設定して, 1988年3月と1989年3月の融雪にともなう流出, 1988年秋季の降雨にともなう流出を観測・解析し, これらについて検討を行った。

2. 調査地区概況

調査地区は北海道の日高山脈の西側山麓に位置する静内町の北海道大学農学部附属牧場に, A, B二つの調査流域を設定した。A調査流域は附属牧場の東側にあり, 流域地形は西向き, 平均傾斜は約16%で, 標高110~158mである。流域中は1.7haの放牧地と7.7haの林地で, 合計面積9.4haである。B調査流域は附属牧場の西側にあり, 面積約6.8haで, 蹄耕法により造成した

放牧地である。流域地形は南向き、平均傾斜は約28%で、標高120~167mである。附属牧場と調査流域位置図を Fig. 1 に、調査流域の概況を Fig. 2(a), (b)に示す。この A, B 調査流域内の各数地点と調査流域外に C1, X1, X2 の3地点を選定して積雪・融雪、土壌特性および浸入度の調査を行った。

当地域は年平均気温7℃、8月の平均気温約20℃、2月および3月の平均気温は約-5℃、-1℃である。年降水量は約1200mmで夏期に多い。積雪期間は100日程度で深雪を見ることはまれである。静内測候所の1978~1987年の10年間の気温動向を Fig. 3 に示す。平均的な融雪開始時期は3月中旬と考えられる。

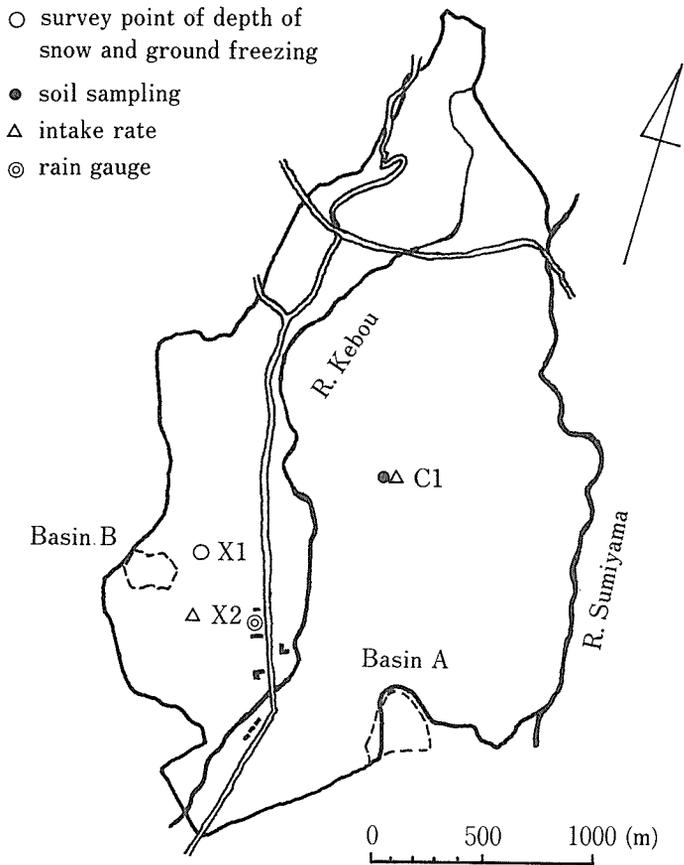


Fig. 1 Livestock Farm, Faculty of Agriculture, Hokkaido University

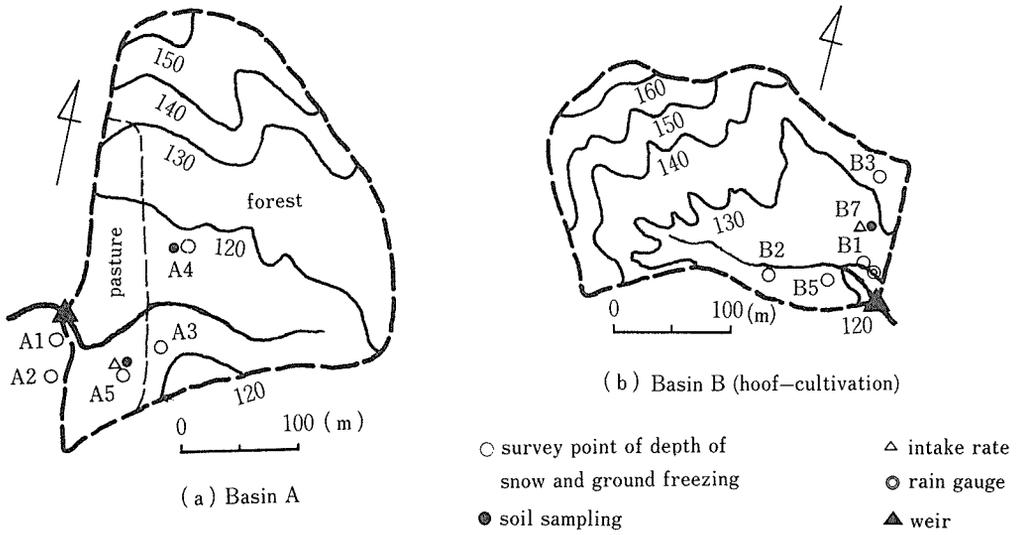


Fig. 2 General survey of catchment

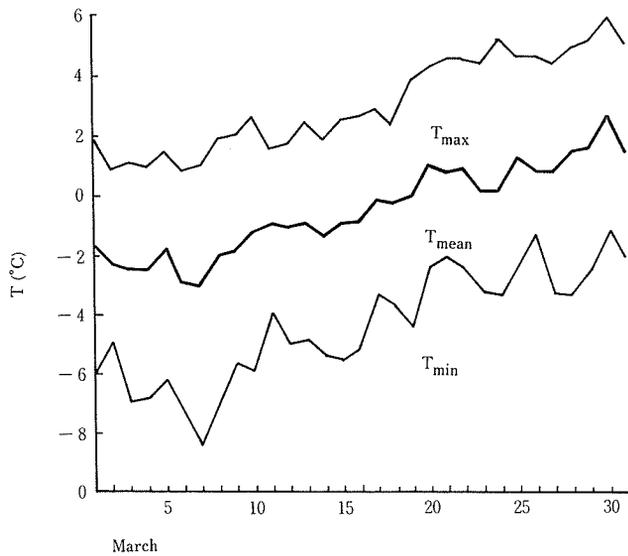


Fig. 3 Mean temperature in March at SHIZUNAI station (1978~1987)

3. 浸入度と土壌の物理性

附属牧場は火山灰土が広く分布していて、地表面から深さ10cmまでは黒褐色火山灰土で、深さ15cm～30cmに火山砂層があり、30cm～50cmにシルト質土が分布している。地表面下5cmから深さ40cmにおける土壌の物理性を Table 1 に示す。A 調査流域において林地は放牧地より地表近くでは間隙が大きく、透水係数も大きい。しかし、pF 1.5の間隙を排水間隙としてみると、林地は放牧地より排水間隙が小さく、特に火山砂層の排水間隙の値は大きい。また、同類の火山灰の十勝池田東台地区の林地および草地²⁾の値よりも大きい。B 調査流域の地層状況はほぼ A 調査流域と類似して深さ20cm～30cmに火山砂層があり、その下にシルト層があり、地表の透水係数は A 調査流域より小さい。排水間隙は幾分大きい値を示している。両調査流域とも地表より下層の方が土壌の透水係数が小さい傾向にある。

調査地区内の排水路底に粘土が露出していることが多く、地表より深さ約2mのところに粘質土層が分布していると推定される。

土地利用状況と浸入性の関係を見るため、放牧地 (A5 地点)、蹄耕法放牧地 (B3 地点)、混牧林地 (C1 地点) および、採草地 (X2 地点) の4地点において浸入度試験を行った。各地点の浸入度は Fig. 4 に示すよう混牧林地の浸入性が一番大きく、次に採草地、蹄耕法放牧地、放

Table 1. Soil properties

point of soil sampling	depth (cm)	moisture ratio	porosity (%)	coefficient of water conductivity (cm/s)	drainage porosity (%)	specific gravity	grain size (mm)		
							D ₆₀	D ₃₀	D ₁₀
A 5 pasture	5-10	—	56	3.0×10^{-2}	33	1.49	—	—	—
	15-20	0.77	58	2.4×10^{-2}	33	1.39	0.65	0.35	0.10
	25-30	1.12	66	5.3×10^{-5}	27	2.05	0.11	0.01	0.002
	35-40	0.82	60	3.4×10^{-4}	32	2.12	0.07	0.01	0.001
A 4 forest	5-10	—	70	4.4×10^{-2}	23	1.79	—	—	—
	15-20	0.79	64	3.8×10^{-2}	27	1.55	0.60	0.26	0.006
	25-30	1.03	68	4.0×10^{-4}	24	1.92	0.08	0.01	0.004
	35-40	1.04	67	7.2×10^{-4}	26	1.91	0.08	0.02	0.003
B 7 pasture by hoof-cultivate	5-10	0.66	68	2.0×10^{-4}	—	2.27	0.25	0.06	0.02
	15-20	0.34	66	4.4×10^{-3}	34	2.41	0.34	0.15	0.06
	25-30	0.69	76	2.1×10^{-1}	34	1.89	0.75	0.40	0.01
	35-40	0.67	67	1.5×10^{-5}	—	2.53	0.09	0.05	0.006
C 1 forest (grazing)	5-10	0.83	72	3.0×10^{-3}	25	2.54	0.26	0.11	0.02
	15-20	0.67	77	2.1×10^{-1}	27	1.99	1.00	0.50	0.14
	25-30	0.74	74	2.1×10^{-1}	38	2.01	0.65	0.28	0.01
	35-40	0.60	61	1.7×10^{-7}	—	2.75	0.08	0.03	0.002

放牧地における融雪流出

牧地の順になる。浸入度は降雨強度の増大により、混牧林地ではやや大きくなるが、他の地点では降雨強度による変化がほとんどない。

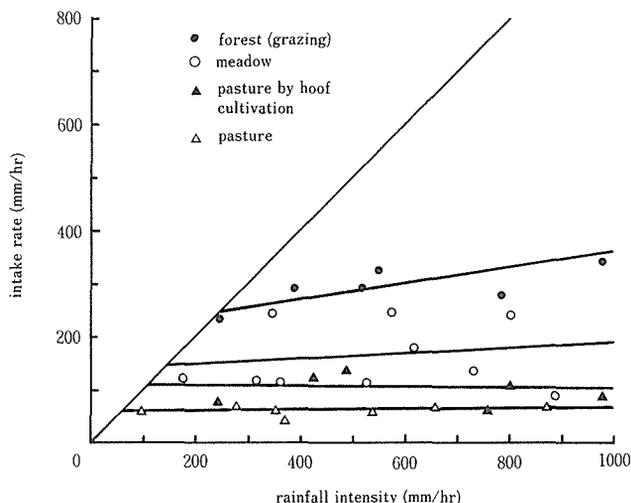


Fig. 4 Relation between intake rate and rainfall intensity

4. 積雪と凍結

1989年2月16日、3月9日の二回積雪・凍結状況を調査した。2月16日に附属牧場では積雪が0～6 cm、地表面が露出しているところも多いが、林地では積雪40cmのところもあった。3月9日積雪は0～2 cm、地表に薄い残雪があり、北向き林地の斜面で局部的に25cmの積雪もある。積雪密度は1988年3月7日では0.24～0.28 g/cm³、1989年2月16日では0.30～0.43 g/cm³である。積雪、凍結調査の結果を Table 2 に示す。二回の測定による凍結状況は、林地の A3, A4 地点では0～7 cmで、放牧地の A1, A2 および B1～B4 地点では3～28cmであり、林地より放牧地の凍結深が大きい。いま、凍結時の土層を取り出して、その土壌の物理性を Table 3 に示す。Table 1 の値とほぼ類似した値を示しているが、B2, B3 の排水間隙が他の地点より小さい。

Table 2. Depth and density of snow and depth of ground freezing

survey point				Basin A				Basin B			X1
				A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	
snow depth (cm)	1989	2	16	6.0	3.0	40.0	4.0	20.0	6.0	0	0
	1989	3	9	1.0	1.0	25.0	2.0	1.0	1.0	1.0	0
snow density (g/cm ³)	1989	3	7	0.24*	0.26*	0.26*	0.28*	—	—	—	—
	1989	2	16	0.35	0.43	—	—	0.39	0.30	—	—
freezing depth (cm)	1989	2	16	23.5	22.0	0	7.0	5.0	18.5	21.0	9.0
	1989	3	9	28.0	—	0	5.0	5.0	9.5	3.0	6.0

* near surveying point

Table 3. Properties of freezing soil

	Basin A		Basin B		
	A4	A5	B2	B3	B5
depth of freezing (cm)	6.3	5.0	2.1	6.3	7.0
moistur density (g/cm ³)	1.04	1.22	1.21	1.30	1.40
dry density (g/cm ³)	0.34	0.45	0.46	0.76	0.69
spersific gravity	2.62	2.58	2.22	2.70	2.77
porosity (%)	66	62	59	52	55
drainage porosity (%)	21	24	12	13	21

5. 降雨流出特性

流域の降雨～流出特性を把握するため、1988秋期の降雨流出について、A 調査流域は9月7～17日の11日間、B 調査流域は9月26日～10月21日の25日間の観測資料を用いて解析した。

A, B 調査流域ともに三角セキを設置し、A 調査流域では水研式長期自記水位計により水位を観測した。降雨量は牧場の資料を用いた。また、この資料に欠測がある場合には、約15km離れた静内測候所の資料で補填した。B 調査流域は水研式長期自記水位計で水位、雨量を測定した。

調査流域の降雨～流出状況を Fig. 5, 6 に示す。A, B 調査流域に共通的な特徴は降雨に対する流出の対応が早く、流出の時間的遅れが小さいことである。また、流出形状は変化が激しく、流出のピークの形が鋭い。これは斜面長が短く、斜面勾配に差が少なく、水路の数が少ないなどの小流域の一般的な流出特性を表わしているといえよう。放牧地を若干含む林地の A 調査流域は二回の降雨流出とも Fig. 5 に示すように二つのピーク流量が出現している。先に出現する小ピーク流量はよりセキに近い放牧地から、後の主ピークは林地から流出していると考えられ、これは特に地形的に迂回するような流出経路となり、さらに湿潤地帯を通過するため時間遅れが比

放牧地における融雪流出

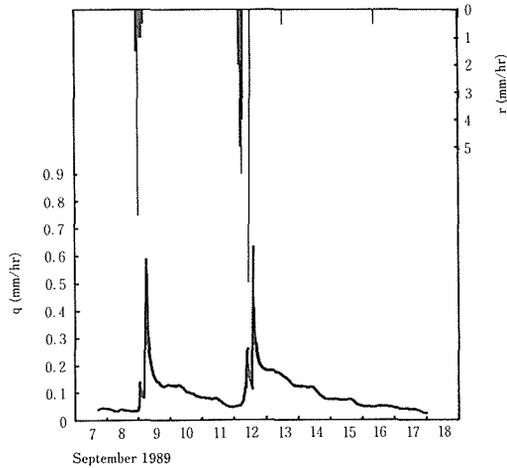


Fig. 5 Hydrograph of Basin A

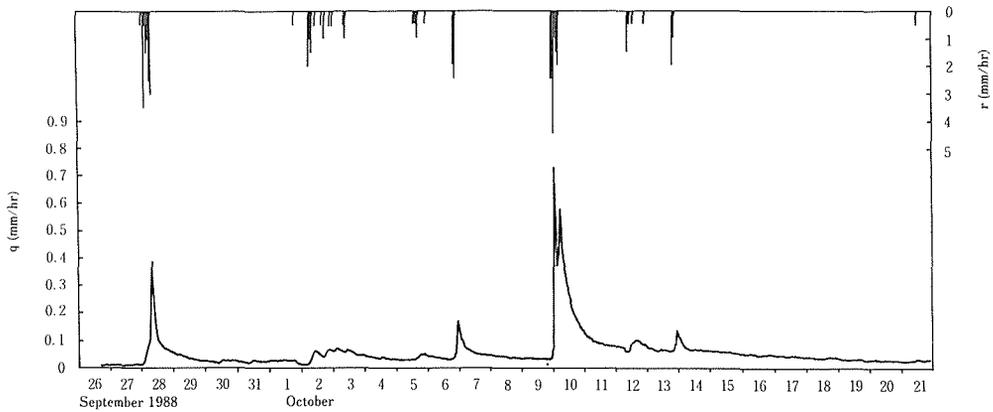


Fig. 6 Hydrograph of Basin B

較的大きいと考えられる。いずれにしても林地より放牧地の表面流出が早いと推定される。また、ハイドログラフの形からみると、A 調査流域において出水の逓減部分の流量は B 調査流域より大きく、むしろ凸状を示しているといえる程である。この部分は日単位の変動も認められる。これらは林地の保水性、浸入性、蒸発散の影響が放牧地と異なるためと考えられる。これは、林地より、牧草地は浸入性が小さく、地形において勾配が幾分急であるためと推定される。

A 調査流域の 9 月 8 日、9 月 12 日、B 調査流域の 10 月 28 日、11 月 9 日計 4 回の降雨～流出現象から流出諸元を求めて Table 4 に示す。A 調査流域は基底流出量が大きく、直接流出率は比較的少ない。B 調査流域は A 調査流域に比べて基底流出量が小さく、直接流出率は比較的大きい。

これらは林地と放牧地の土壌の保水性あるいは降雨の表面流出等の差異と考えられる。B 調査流域の10月28日の降雨に直接流出率の少ないのは、この日以前の無降雨日数が多いためと考えられ、また、11月9日の流出率の大きいのは蒸発散量の減少とともに小降雨が続いて土壌水分が多かったためとも考えられ、小流域からの流出は地形、土壌特性、地表植生、気象条件あるいは土地利用条件などによって受けている影響が極めて直接的に表現されているのであろう。

Table 4. Values of runoff analysis

No.	1	2	3	4
basin	A	A	B	B
runoff period	9/8~9/8	9/12~9/12	10/28~11/10	11/9~11/10
total rainfall (mm)	12.5	27.0	12.5	18.0
initial loss (mm)	0	0	0	0
effective rainfall (mm)	3.1	3.8	1.6	5.4
rainfall loss (mm)	9.4	23.2	10.9	12.6
peak rainfall (mm/hr)	7.5	10.0	3.5	4.5
runoff discharge (l/sec)				
initial base flow	0.99	1.45	0.30	0.57
peak discharge	15.48	16.68	7.43	13.89
direct peak	14.25	14.90	6.89	13.18
end of direct runoff	2.53	3.13	1.09	1.95
direct runoff discharge (m ³)	293.35	354.01	110.39	371.41
percent of direct runoff (%)	25.0	14.0	13.0	30.2
coefficient of recession curve (1/hr)				
direct runoff	0.017	0.031	0.061	0.051
base flow	0.013	0.016	0.024	0.023

6. 融雪・融解流出

1988年3月にA 調査流域で、また1989年3月にはA、B 両調査流域において、融雪流出を観測した。

1989年3月23~29日の観測期間中は、気温の日変動が大きく、その最大幅は12℃であった。この期間中気温の低い夜間に三角セキ前の水面が凍結し、フロートの変動が停止するため、早朝氷を割って観測を継続した。この間の水位は後にほぼ直線で修正した。気温、降雨については附属牧場の気象資料を用いた。

1989年3月9~31日の観測期間中は、水面が凍結することを防止するため、水位計のフロートを設置する井戸部分に不凍液を用い、三角セキ部分はビニルシートを用いて保護し、連続観測を

放牧地における融雪流出

可能とした。

1988年3月は附属牧場の積雪は少なく、23～29日には林地の窪地に10cmほど雪が残っていたが、一般の放牧地の地表面は凍結していた。この期間にA調査流域の降水量、気温および流出量の変動をFig. 7に示す。融雪流出によるピーク流量は日中気温の0℃以上の部分とよく対応して、明らかに日周期変動がみられる。日中の気温のピーク時よりやや遅れて融雪流出ピークが出現する。その形状は、流出ピーク前の流量増加は急激であり、ピーク後の逡減部分は比較的緩慢である。

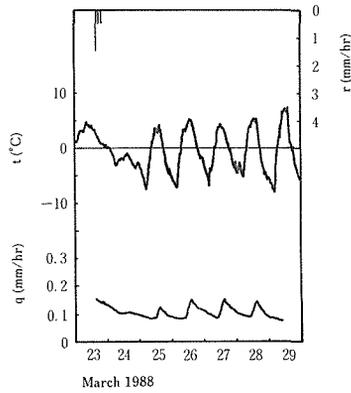


Fig. 7 Hydrograph of snow melting period in Basin A

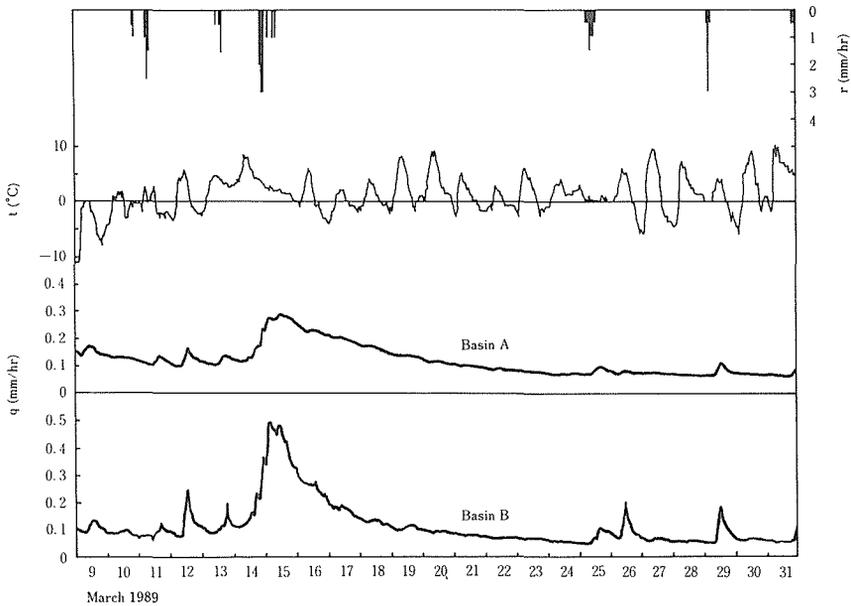


Fig. 8 Hydrograph of snow melting period in Basin A, B

1989年は平年より積雪量は少なく、気温は高い。そのため融雪開始は平年より早かった。3月9日林地の北向き斜面で局部的に25cmのところもあったが、放牧地の積雪深は0～1cmであった。1989年3月9～31日に観測したA調査流域およびB調査流域の降水量、気温および流出量をFig. 8に示す。15日以前の融雪流出は気温の変動と対応していることは明らかである。

1989年3月11日は気温が低いが、降水があり融雪流出と共に流出している。12日の融雪流出がこの観測期間中で気温と最も対応している。13～15日は気温も高いが降水もあり、流出の形状が融雪流出とは異なる。15日に15mmの降水があり、流出量は融雪による流量増加以上に流出することになる。15日のピークは秋期の降雨流出現象に似て、B調査流域はA調査流域よりもピーク流量が大きく、ピーク後の逓減も大きい。A調査流域の逓減部分は直線的な低下流出形状を示している。18日以降の流出において気温との対応は明らかではないが、その後いくつかの凹凸が認められる。これは凍結層の融解も考えられ、融雪流出よりも融解流出が卓越している部分と考えられる。21日以後流出は気温の影響がほとんど認められなくなり、これは地表の残雪、土層の凍結水の大部分がすでに融雪・融解し、それが流出されたと推測される。しかし、3月25日に降水があるが、A、B調査流域ではともに小さい流出が認められるが、26日の気温上昇によりB調査流域では若干の融雪流出が認められる。また、29日も降水と融雪による流出が認められる。

融雪流出の解析には、実用的な手法としてデグリー・デイ (degree-day) 法が一般的であるが、時間単位あるいは短期間の融雪に対しては、気温時間 (degree-hour) 法を用いることもある³⁾。

1988年3月24～28日の気温を時間的にみると0℃以上がかなりあるが、日平均気温はすべて0℃以下で、デグリー・デイ法では融雪流出を説明することができない。しかし、Fig. 7においては、流出は気温の変化とよく対応して、融雪流出が発生していることは明らかであり、このような小流域を対象とするときは、気温時間法を用いるのが適当であろう。

いま、気温は0℃以上のときだけ融雪に関与すると考え、1日の内、0℃以上の気温を時間ごとに累加したものを気温時間とする。ハイドログラフの日変動の各最小流量点を直線で結び、それ以上の流出量が気温時間による融雪流出量と仮定し、対応する気温時間との関係を検討してみた。

1988年3月23～29日と1989年3月10, 11, 12, 26, 29日の各日の気温時間と融雪流出量をプロットしたものをFig. 9に示す。これらのデータの平均値と、また、気温が0℃時に融雪量もゼロとして原点を通る直線を設定することにより、気温時間 (℃・hr) に対する融解量 (mm) の関係を求めると融雪係数は0.016mm/℃・hrとなった。1989年3月26日の資料は前日の降水と共に一部流出しているためか融雪流出量が小さくなっている。一般に、B調査流域はA調査流域より気温時間あたりの融雪係数が大きい傾向にあり、これは、放牧地と林地との融雪流出の特徴と考えられる。すなわち、林木で積雪が覆われている状況の林地よりも積雪が露出状況の放牧地の方が気温によって代表される気象条件の影響をその積雪に受けるのは当然のことであろう。

前述の3月15日に降水がある。いま、A、B両調査流域ともこの間の流出に気温と対応する

放牧地における融雪流出

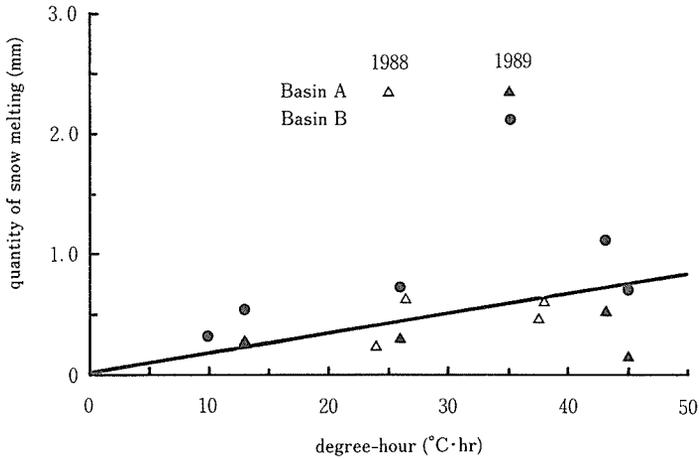


Fig. 9 Relation between snow melting and degree-hour (March)

変化が明らかにみられる流量最小時の13日8時から、17日24時までを直線で結び、降水を含む融雪量として求めると、気温時間は283°C·hrで、流出量は、A調査流域で5.8mm、B調査流域で13.0mmであり、降水量の影響を受けているが前述と同じようにB調査流域はA調査流域より融雪量を含む流出量が多い。

7. あとがき

本研究は林地と放牧地の二小流域の土壌の物理性、浸透性、融雪流出および降雨流出について研究し、以下に述べる結果を得た。

1. 小流域の融雪流出量は気温の日変動の0°C以上の部分に敏感に反応し、流出変動は気温変動より若干遅れて出現する。流出形状は降雨流出より緩く、基底流出が大きい。

2. 融雪開始時には、林地は放牧地より春先の積雪深が大きく、融雪の速度は緩慢である。凍結深は放牧地より林地が小さい。

3. 積雪が少なく土壌凍結のある小流域の流出は融雪流出の他に融解流出を考慮する必要がある。気温時間法で求めた調査地区の融雪係数は0.016mm/°C·hrであり、林地より放牧地の方がやや大きい傾向にある。

4. 自然林地は放牧地より、降雨流出の遅れが若干あり、ピーク流出後の減速も緩い、また、流出に対する蒸発散の影響も大きい。

5. 小流域の降雨流出特性として、降雨にともなう流出の対応が早く、基底流出量は小さく、流出ピークの形が鋭く、ピーク流量は大きい。

6. 林地は放牧地より土壌の間隙は大きいが排水間隙は小さい。また、地表浸入度は大きい。小流域の融雪、融解および流出特性などは地域の微気象、微地形などの影響が大きく受けることから、その解析はきわめて難しい。また、モデル等を用いて解析するためには降雨流出現象も含めて時間単位よりも10～30分単位の資料として取り扱う必要がある。さらに、より長い期間の融雪・融解流出資料の蓄積がより精度の高い解析を可能とするであろう。

本研究の実施に際しては北海道大学農学部附属牧場・土地改良教室関係諸氏の御協力をいただいた。謝意を表すものである。

引用文献

- 1) 長沢徹明, 梅田安治, 水谷 環: 積雪寒冷地域の傾斜農地における融凍期の侵食問題, 北大農邦文紀要 15(3), pp. 282~292 (1987)
- 2) 桜田純司, 梅田安治, 長沢徹明: 土壌水分と流出 — 傾斜草地に関する農業土木的研究(Ⅲ)一, 北大・牧場研究報告13, pp. 19~32 (1987)
- 3) 土木学会: 水理公式集, pp. 108~109 (1971)

Snowmelt Runoff from Pastures in Small Area

— Engineering Study of Hillslop Grasslands (IV) —

Junji SAKURADA, Yasuharu UMEDA and Liman LI

Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Hokkaido University

This is a study of the physical properties of soils, infiltration, snowmelt runoff, and rainfall runoff in forests and pastures of two small basins. The following results were obtained:

1. The snowmelt runoff from the small basins is affected by daily temperature fluctuations above 0°C, and the charges follow the temperature with some delay. Snowmelt runoff shows less fluctuation than rainfall runoff and has a higher base flow.
2. During early spring thaw forests have more snow, slower thawing, and less frozen soil than pastures.
3. In small basins with frozen soil due to little snow cover, the runoff from the melting of the frozen layer must be considered in addition to the snowmelt runoff. The degree-hour factor of the surveyed area determined by the degree-hour method is 0.016mm/°C·hr. For pastures it is somewhat larger than for forests.
4. In natural forests, the runoff response after a rainfall is slightly later, the reduction after the peak runoff is more slow and evapotranspiration effects is more strong than that in pasture.
5. Rainfall runoff from small basins show a quick response to rainfall, low base flow, a sharp runoff peak, and higher peak discharge.
6. The forest has higher soil porosity, a smaller drainage porosity and a higher intake rate than the pasture.

Key Words: small basin, forest, pature, runoff, snowmelt runoff