



Title	傾斜枠試験による土壌流亡挙動の研究 () : 1989年春期における流出と侵食
Author(s)	長沢, 徹明; 梅田, 安治; 李, 里漫
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 17(2), 129-136
Issue Date	1990-08-31
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/12124
Type	bulletin (article)
File Information	17(2)_p129-136.pdf



[Instructions for use](#)

傾斜枠試験による土壌流亡挙動の研究 (II)

— 1989年春期における流出と侵食 —

長 沢 徹 明・梅 田 安 治・李 里 漫

(北海道大学農学部農業工学科土地改良学教室)

(平成2年5月9日受理)

Behaviors of Soil Loss in Slope-lysimeter (II)

— Runoff and Erosion on Bare Slope, Spring 1989 —

Tetuaki NAGASAWA, Yasuharu UMEDA and Liman Li

(Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture,
Hokkaido University, Sapporo, Japan)

1. ま え が き

凍結した地盤の融解や融雪の流出にともなう傾斜地の侵食は、積雪寒冷な地域の農地保全上無視できない問題である。北海道の冬期降水量は年降水量の3割程度を占めるが、この多量の降水は大部分が積雪のかたちで保留される。これは、気温の上昇によって比較的短期間に融雪し、傾斜地の場合にはこの融雪水の表面流出にともなう侵食が発生しがちである。また北海道においては、大規模な農地開発事業の進展とともに改良山成畑法面の保全が問題となっているが、融雪に起因する法面崩壊が崩壊事例の51%を占めるとする調査結果もある¹⁾。一方、積雪が少ない寒冷地域では、冬期間地盤が凍結する。これが融解する時期には土壌侵食が発生しやすい。とくに融雪あるいは降雨が並行すると、農地に深刻な被害を与える²⁾。また、気温の変動により地表が凍結融解を繰り返すと、土の物理的性質が変化する³⁾。これは、春先の融雪・融凍侵食、その後の降雨侵食に対して重要な影響をおよぼす。

積雪・融雪、凍結・融解による流出、侵食挙動は、積雪寒冷地域の農地保全にとってきわめて重要な課題である。北海道における融雪期の侵食については、既に1950年代に八畝⁴⁾が、地層の凍結、地温の日変化、融凍による表面流出、土壌流亡の観測を通じて検討を行なっている。また佐藤⁵⁾は、圃場各部位の地盤凍結状況、凍結前後における土壌のpF値、団粒性などの変化を調査し、融凍期の侵食

について検討を加えた。一方間宮⁶⁾は、道路の切土法面において積雪深、凍結深、凍上量、地中温度などを観測し、凍結融解による切土法面の保全問題について報告した。沢田⁷⁾は、改良山成畑の積雪・融雪、圃場の表面流出や地下水位などの観測から、春先の融雪による圃場地下水位の上昇と盛土法面の崩壊侵食の関連性について検討している。

以上のように、融雪・融凍期の土壌保全問題に関しては、主に現地調査をとおして実態の把握がすすめられた。しかし侵食量予測に関する検討は不十分であり、たとえば融雪流出と侵食の関係については不明な点が多い。USLEでは「融雪流出係数」が設定され⁸⁾て侵食流亡土量予測式の中に取り込まれているが、わが国への適用には検討を要するであろう。

近年展開されてきた農地開発事業により、道内には多くの傾斜畑が造成されるに至った。それとともに、融雪・融凍時の農地保全問題が注目され、融雪・融凍による侵食の機構や侵食予測、防災措置などについての検討が重要な課題となっている。

2. 試験枠と観測方法

融雪・融凍時の侵食機構を解明することを目的とし、1988年12月から1989年3月まで、試験枠による冬期の地盤凍結、積雪、春先の融雪、融凍、表面流出、土壌流亡などを観測した。また、凍結・融解履歴による受食性への影響などを検討するため融凍後も地表を攪乱しないように保存し、引続き5月

31日までの期間の降雨による流出・流亡状況を観測した。

試験枠は長さ5.0 m, 幅1.0 m, 傾斜9%で2組4面からなり, 各組に裸地と草地を1面ずつ設定した⁹⁾。1組は冬期間除雪して地盤凍結を強制し, 他の1組は自然積雪状態とした。草地枠は, 牧草の侵食抑制効果を検討することを目的とするものであるが, この時期には牧草の生育が不十分であったため, 草地モデルとしての検討は次期に行うことにした。したがって本報告では, 裸地枠の観測についてのみとなる。試験枠下端で流出水量および流亡土量を計測するほか, 裸地枠の地表面温度を測定し, 気温と降水量は附属農場気象観測資料によった。地盤の凍結深はメテンプルー凍結深度計で, また積雪深は標尺により, とともに目視で1日1回観測した。

3. 融雪・融凍期の侵食

3-1) 地盤の凍結・融解

積雪枠では地盤凍結は発生しなかったが, 除雪枠では予定どおり地盤凍結が発生した。観測された日

平均気温, 地表温度, 地盤凍結深を Fig. 1 に示す。これによると, 1988年12月15日から日平均気温が継続的に零度以下となり, 除雪枠では地盤が凍結し始めた。1989年2月28日までの74日間, 日平均気温はほとんど0°C以下で, 0°C以上の日は5回しかなく, 連続2日0°C以上となるのは1回のみであった。気温の変動により, 凍結深の進行にも若干の影響があらわれるものの, 0°C以下の低温が継続する結果として凍結層の下面は徐々に深くなる。そして, 凍結が始まってから約2ヵ月目の1989年2月13日に最大凍結深(24 cm)となり, 融解が始まるまでの約20日間ほぼ同じ深さで推移した。

凍結枠の地表温度は気温より高く, 0°Cあるいは0°C以上の場合がよく発生した。凍結期間における日平均気温の変動は3.5°C~8.5°Cであるのに対し, 日平均地表温度は2.6°C~4.2°Cであり, 変動幅は地表温度が気温より小さい。気温が上昇すると地表が一時的に融解する場合もあり, 観測期間中0.5 cm~8 cmほどの融解深さが測定された。本格

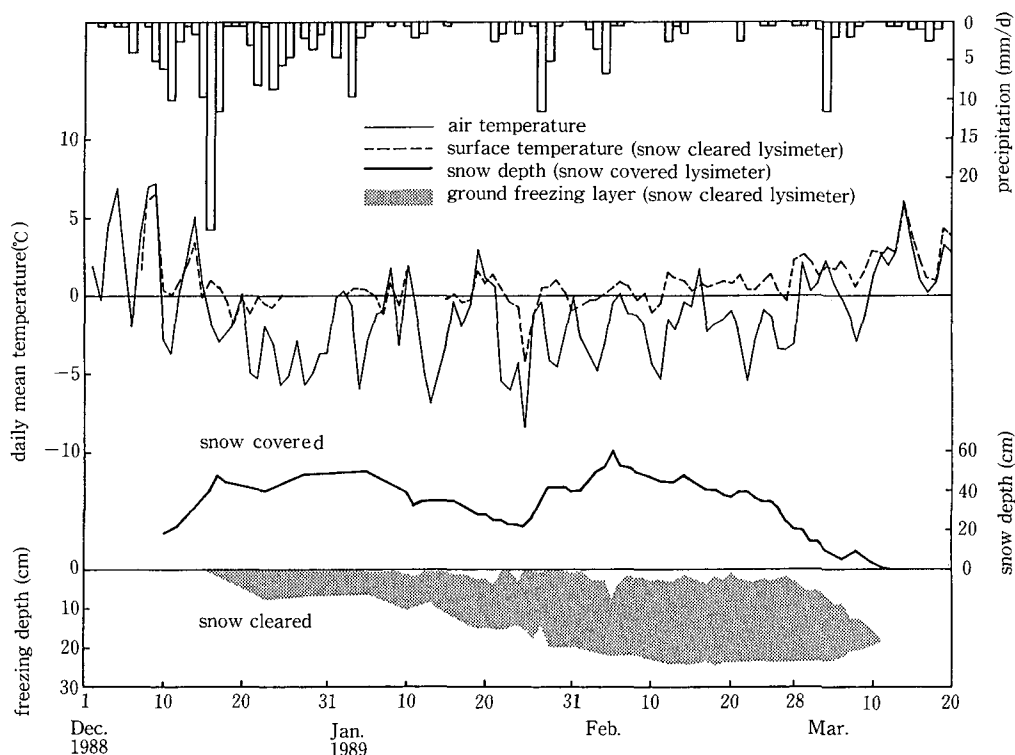


Fig. 1. Daily mean temperature, precipitation, snow depth and soil freezing depth of slope-lysimeters

的な地盤融解は2月28日から始まり、3月11日までの12日間で完全に融解した。融解は気温の上昇と密接に関連し、凍結層の上下両面から発生する。ただし、上面からの融解は下方より5日ほど早くはじまり、また融解の割合も多く、凍結層厚の75%ほどを占めた。

1988年12月1日から1989年3月20日までの期間における日平均気温の積算曲線をFig.2に示す。この曲線の最大値と最小値の差は凍結指数と定義されるものである。この場合凍結指数は179.6°C・daysとなり、木下らによって報告された札幌地域の平均凍結指数500~600°C・days¹⁰⁾よりかなり小

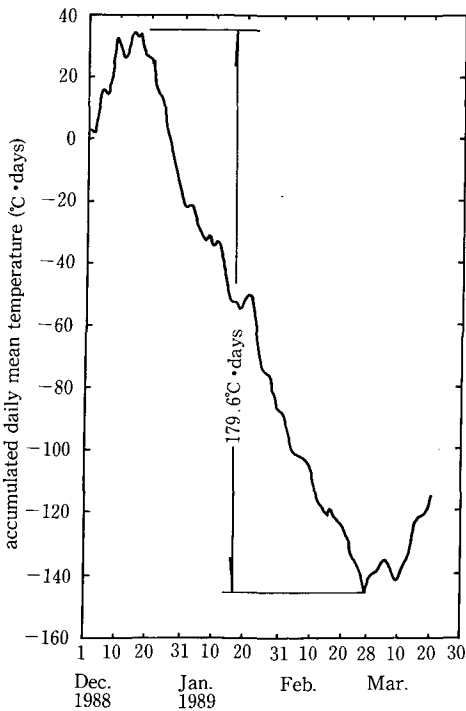


Fig. 2. Freezing index of 1988/1989

Table 1. Observed temperature, precipitation and normals at Sapporo¹⁴⁾

		Dec.	Jan.	Feb.	Mar.
monthly mean temperature (°C)	normals	-1.6	-4.9	-4.2	-0.4
	1988/1989	-0.7	-2.1	-1.9	2.3
monthly precipitation (mm)	normals	101.0	114.0	92.0	78.0
	1988/1989	117.5	44.5	20.5	45.5

きな値である。Table 1からも明らかのように、この年は記録的な暖冬であった。

凍結深の概値は、Stefan モデルに基づく次式で表わすことができる。

$$Z = \alpha \sqrt{F} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 Z : 凍結深(cm)

F : 凍結指数(°C・days)

α : 係数

(1)式に、観測された凍結深24 cm、凍結指数179.6°C・daysを代入して α を求めると1.8となる。これは平均的な値とされる2.7¹⁰⁾より非常に小さい。なお、地盤の凍結期間は1988年12月15日~1989年3月11日の87日間であった。

3-2) 積雪と融雪

Fig. 1に示される積雪深のデータによれば、積雪期間は1988年12月10日から1989年3月13日までの94日間であり、除雪枠の凍結期間にはほぼ対応している。積雪深は降雪量、気温などの気象条件によって変動し、最大積雪深は1989年2月5日の60 cmであった。融雪は日平均気温が大幅に上昇する2月下旬から始まり、3月中旬までのほぼ半月で終了した。

菅原が提案した積雪・融雪モデル¹¹⁾によれば、日平均気温が0°C以下では降水は降雪とみなし、また日平均気温が0°Cを越えれば融雪が発生するとともに降水は雨とみなされる。このとき日融雪量は次式で計算される。

$$M = mt + tp/80, (t > 0) \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 M : 日融雪量(mm), p : 日降水量(mm), t : 日平均気温(°C), m : 融雪係数(mm/°C・days), (2)式の右辺第1項は気温による融雪量で、第2項は降雨による融雪量である。融雪係数 m は地域の気象、地形、土壌条件などを反映する指標で、日本では2~6とされている。融雪期の総融雪量は、(2)式に基づいて以下ようになる。

$$\Sigma M = \Sigma(mt) + \Sigma(tp/80), (t > 0) \dots\dots\dots(3)$$

ここで、 ΣM : 総融雪量(mm), $\Sigma(mt)$: 気温による融雪量(mm), $\Sigma(tp/80)$: 降雨による融雪量(mm)

いま積雪期間の降水量、気温(附属農場観測資料)によって、(3)式から融雪係数 m を求める。日平均気温が0°C以下では降水は降雪、0°C以上では降雨とみなす。これにより12月10日~3月13日の総降雪相当水量は139.5 mmと算出され、期間内に完全に融解したので総融雪量(ΣM)とも考えられる。

その中には降雨による融雪量も含まれる。これを(3)式右辺第二項によって計算すると0.69 mmとなり、残る融雪量は気温によるもので第一項に相当する。これらの数値を(3)式に代入して融雪係数を求めると、 $m=3.64(\text{mm}/^{\circ}\text{C}\cdot\text{days})$ なる値を得る。

3-3) 融雪, 融解による土壌流亡

融雪および地盤の融解にともなう表面流出と土壌流亡は、3月中旬に融雪・融解が終了するまでの間3回発生した (Table 2)。3月4日時点では、除雪枠には凍結層が厚さ16.3 cm (地表下7.0 cmから23.3 cmまで) 残存し、積雪枠には10 cmの残雪があった。3月4日は日平均気温が2.3°C、日最高気温が3.2°Cに達し、12.5 mmの降雨にともない表面流出と土壌流亡が発生した。表面流出水量は除雪枠が積雪枠の1.7倍、流亡土量は2.6倍であった。これは凍結層が難透水性のため表面流出が増大するとともに、凍結融解により表土の耐食性が低下したことに起因する³⁾ものである。また積雪枠では積雪層に降雨が保持されて地表面への到達量が少なくなること、および地盤に凍結層がないため、浸入性が維持されていることなどから、流出が抑制されたものと考えられる。

3月10、11日には日平均気温が1.4°C、2.7°Cとなり、また日最高気温はそれぞれ4.9°C、5.9°Cに達した。このため、積雪枠では両日とも融雪流出が発生している。3月10日には除雪枠でも少量の流出を見た。これは凍結層の融解にともなう融凍水の流出と考えられる。そして3月11日には凍結層は消滅し、流出が認められなかった。融雪・融凍期間の水・土流出量を見ると、除雪枠は積雪枠より流出水量、流亡土量ともに大きな値を示している。上述のように、これは凍結融解過程の地盤の性質に起因する現象である。凍結時の条件にもよるが、表層に形成される凍結層は、下方からの土中水の移動集積により過飽和状態となる。この水分が固相(氷)で

ある間は系全体はきわめて安定している。融解は主に凍土層の上方から進行するため、地中に凍土層が一定期間残存する。この凍土層は難透水性であることから、表層の融凍水は排水されず過飽和状態が継続する。地盤が傾斜していればこの融凍水の移動(流出)が発生する。また降雨があれば流出も当然大きくなる。一方表土は、凍結作用の影響により耐食性が変化していることに加え、過飽和の間隙水で分散状態にある。したがって傾斜に沿って流下する場合さえみられる。このような状況下で降雨があれば、はげしい侵食を引き起こすことになる。Table 2の結果は、少ない事例ながら地盤の凍結～融解過程における侵食現象を示すものといえよう。

3-4) 融雪流出係数

侵食流亡土量予測式いわゆるUSLEは次式で表わされる¹²⁾。

$$A=R\cdot K\cdot L\cdot S\cdot C\cdot P \dots\dots\dots(4)$$

- ここで、 A : 侵食流亡土量(t/ha)
- R : 降雨流出係数($\text{m}^2\cdot\text{tf}/\text{ha}\cdot\text{hr}$)
- K : 土壌係数($\text{t}\cdot\text{hr}/\text{m}^2\cdot\text{tf}$)
- L : 斜面長係数
- S : 傾斜係数
- C : 作物管理係数
- P : 保全係数

(4)式の諸係数は長期観測による年平均値として設定されるものであり、それぞれ、地域の侵食性、受食性をあらわす指標である。積雪地域においては、融雪流出による侵食を評価するものとして融雪流出係数 R_s が設定され、降雨流出係数Rに加えられる。(4)式は年平均値によって侵食の評価・予測を行うものであるが、侵食の状況は季節により異なる。そこでRやKを期別に求め、期別の侵食特性を把握する試み¹³⁾も行われている。とくに北海道のような積雪寒冷地では、春期の侵食状況が注目され、防止策もさまざまに工夫されている。ここでは融雪

Table 2. Runoff and soil loss with melting of snow and thawing of freezed ground

date	daily mean temp. (°C)	rainfall (mm)	snow cleared lysimeter			snow covered lysimeter		
			runoff (mm)	soil loss (g/m ²)	freezing depth (cm)	runoff (mm)	soil loss (g/m ²)	snow depth (cm)
1989/ 3/ 4	2.3	12.5	2.34	0.76	7.0~23.3	1.40	0.29	10.0
3/10	1.4	0.0	0.07	0.41	16.0~20.0	0.18	0.41	3.0
3/11	2.7	0.0	0.00	0.00	0.0	0.02	0.06	1.0
total			2.41	1.17		1.60	0.76	

流出係数 R_s と融雪期の土壌係数 K_s を求め、融雪期の侵食状況を検討する。

USLEによれば、12月～3月の降水量 (inch 単位) を1.5倍して融雪流出係数 R_s としている⁸⁾。これをアメリカ慣習単位系からメートル単位系に換算すれば、降水量 (cm 単位) の1.0倍になる。本研究の場合、1988年12月1日～1989年3月31日の降水量は22.8 cmであるから、融雪流出係数 R_s は $22.8(\text{m}^2 \cdot \text{tf} / \text{ha} \cdot \text{hr})$ となる。この期間、積雪枠の流出土流は $0.0106(\text{t} / \text{ha})$ であり、斜面長係数 $0.475^9)$ 、他の係数値は1.0である。これらのデータから(4)式で融雪期の土壌係数を求めると $K_s = 9.79 \times 10^{-4}(\text{t} \cdot \text{hr} / \text{m}^2 \cdot \text{tf})$ を得る。

上記の乗数1.0(以下 β とおく)は、アメリカ北西～中西部における観測結果に基づくもので、凍結地盤上での融雪など厳しい条件下で得られた値である。いま、北海道の地域条件に適応した R_s を模索することを前提に、 β について検討を加えることにする。土壌係数 K は表土や地盤の性質によって決定づけられる耐食性の指標であり、その土地固有の値と考えることができる。そこで積雪前の観測で得た土壌係数 $K_a = 0.06(\text{t} \cdot \text{hr} / \text{m}^2 \cdot \text{tf})^9)$ により、(4)式から R_s を逆算すると $0.37(\text{m}^2 \cdot \text{tf} / \text{ha} \cdot \text{hr})$ となる。これと12月～3月の降水量から β を求めると、 $\beta = 0.37 / 22.8 = 0.016$ なる値を得、USLEの設定値よりはるかに小さなものとなる。

一方融雪流出に対しては、12月～3月降水量より降雪量の方が関係はより強いと考えられる。前述の菅原積雪モデルにより降雪相当水量は139.5 mmであるから、乗数 β は、 $\beta = 0.37 / 14 = 0.026$ となり、前記の場合より2倍ほど大きいことになる。

さらに、融雪開始時の積雪量の方がより支配的とみることもできる。そこで試験枠における2月28日の積雪20 cmにより積雪相当水量を求める。既応のデータから札幌の3月の積雪密度を $0.33(\text{g} / \text{cm}^3)^{15)}$ とすると、積雪相当水量は6.6 cmとなる。したがって、上記と同様に β を計算すると $\beta = 0.37 / 6.6 = 0.056$ となり、さらに大きな値となる。

以上の取り扱いではいずれも、融雪流出係数 R_s の換算乗数 (β) は1.0より小さい。このことは、札幌における融雪流出時の水食が軽微なものであることを示しているが、数値自体についてはデータの集積を待ってさらに吟味する必要がある。

4. 地盤の凍結～融解と降雨侵食

4-1) 地盤性状と土壌流亡

地盤の凍結～融解が、その後の降雨侵食に対してどのように影響するかを検討するため、融雪、融解が終了した後も試験枠の地表状態を攪乱せずに保持し、春期の降雨流出状況を観測した (Photo. 1, 2)。3月26日から5月31日までの期間に生じた18降雨のうち、除雪裸地枠で9回、積雪裸地枠で10回の表面流出と土壌流亡が観測された (Table 3)。その後試験枠は耕起され、夏期の観測体制に入った。

春期の降雨と表面流出の関係は Fig. 3 で示され、積雪枠の流出水量は除雪枠より明らかに多く、流出水量の合計値では7倍以上の差があった。これは凍結融解によって地盤の侵入性が変化した結果と推定される。この現象をさらに検討するため、耕起前の試験枠で浸入度試験を行い、また表層の不攪乱土を採取して透水試験を行った。地盤の浸入度試験結果

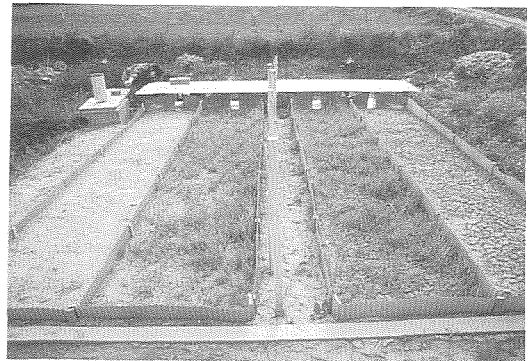


Photo. 1 Condition of slope-lysimeters in spring (right side: snow cleared, left side: snow covered)



Photo. 2 Surface condition of snow cleared lysimeter (just after thawing)

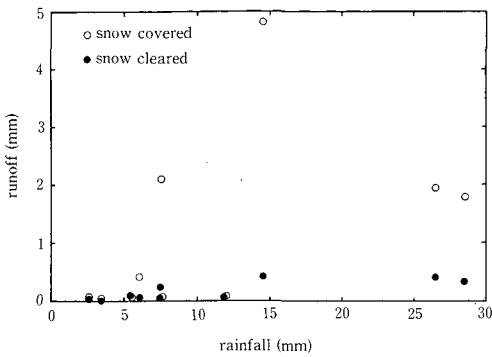


Fig. 3. Rainfall and runoff in slope-lysimeter (spring, 1989)

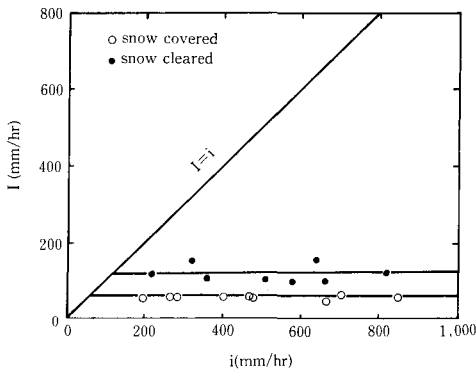


Fig. 4. Intake rate in slope-lysimeter

は Fig. 4 に示すようになり、除雪枠の浸入度は積雪枠より明らかに大きい。また採取した3個の不攪乱供試体による透水係数の平均値は、除雪枠で $3.62 \times 10^{-3}(\text{cm/s})$ 、積雪枠では $1.65 \times 10^{-3}(\text{cm/s})$ であり、凍結～融解した表土は透水性が大きい。これらは、いずれも凍結融解作用が地表面の通水性を増大させることを裏づけるものであり、表面流出や土壌流亡に強い影響を及ぼすことは明らかである。

4-2) 降雨流出と土壌流亡

融雪・融凍終了後から耕起までの期間の土壌侵食状況を示す Table 3 をみると、降雨量が大きい場合には積雪枠より除雪枠の流亡土量が多く、降雨量が比較的小さいと両者に大差がなかったり、逆に積雪枠の流亡土量が多い場合もみられる。これには、凍結融解による地盤の浸入性および表土の耐食性の変化が関与していると考えられる。降雨が凍結融解した地盤の浸入より弱ければ、表面流出が極めて小さく土壌流亡も少ない。しかし、降雨が浸入をうわまわり、表面流の運送力がある程度以上になると、土壌流亡量は急増する。

一方、流出水中に含まれる流亡土壌の濃度に注目すると除雪枠が積雪枠より高い傾向にある。つまり、凍結融解した除雪枠は、浸入性の増大により流出が抑えられ、結果的に土壌流亡も抑制されるが、

Table 3. Runoff and soil loss with rainfalls in spring

date	rainfall (mm)	snow cleared lysimeter			snow covered lysimeter		
		runoff (mm)	soil loss (g/m ²)	soil concentration (g/l)	runoff (mm)	soil loss (g/m ²)	soil concentration (g/l)
1989/ 3/26	3.4	0.00	0.00	—	0.02	0.25	15.38
3/29	2.6	0.01	0.08	4.86	0.02	0.05	3.00
4/ 8	12.0	0.02	0.24	9.83	0.01	0.09	9.20
4/16	26.5	0.42	7.54	17.95	1.94	5.31	2.74
4/17	28.5	0.34	6.62	19.47	1.76	5.06	2.87
5/13	7.5	0.04	0.22	5.60	0.01	0.22	15.86
5/20	5.5	0.05	0.36	7.42	0.04	0.36	9.89
5/28	6.0	0.04	0.73	18.15	0.40	1.05	2.63
5/30	7.5	0.20	0.14	0.69	2.06	1.02	0.50
5/31	14.5	0.42	0.26	0.63	4.80	2.90	0.60
total	114.0	1.54	16.12	10.47*	11.06	16.31	1.47*

* mean cocentration.

降雨条件により表面流出が発生すると流亡土量は大きなものとなるのである。これは、土壌団粒の耐水性に関してすでに指摘した³⁾ように、凍結融解作用によって表土が分散して流亡しやすい状態になっているからである。

地盤が凍結融解することで降雨～流出～侵食がどのように影響を受けるかを検討するため、除雪枠の1988年秋と1989年春、および積雪枠についての比較を行った。このとき、降雨条件の比較を合理的に行う必要がある。そこで、流出、侵食と密接に関連する EI_{30} 値を取り上げ⁹⁾、両時期における流出水量と流亡土量の関係を検証した。流出水量を示す

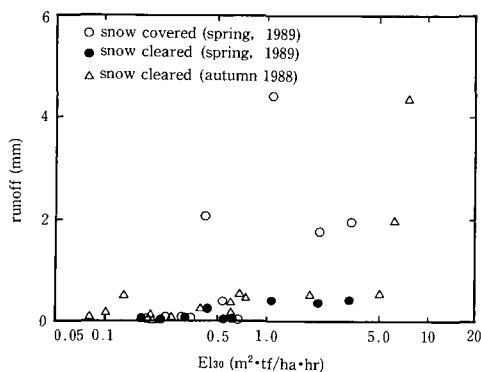


Fig. 5. Runoff and EI_{30} in slope-lysimeter

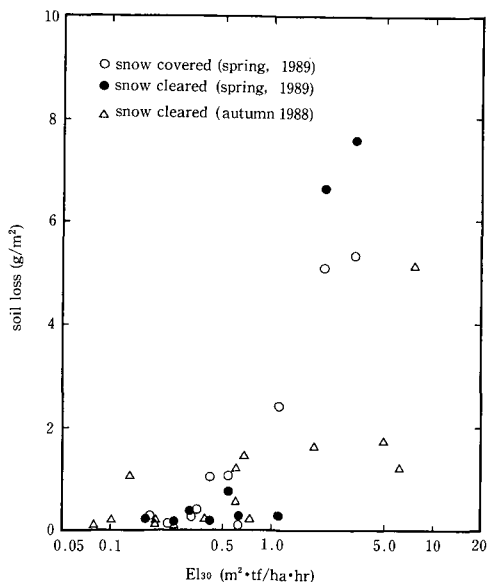


Fig. 6. Soil loss and EI_{30} in slope-lysimeter

Fig. 5では、かなりのばらつきはあるものの不凍結枠（除雪枠＝凍結前、積雪枠＝融雪後）に比べて凍結融解枠（除雪枠＝融解後）の流出が抑制されていることがわかる。また流亡土量を示す Fig. 6をみると、 EI_{30} の小さい範囲では差は認められないものの、 $EI_{30} > 2$ では明らかに凍結融解枠の流亡土量が多い。これらによっても、凍結融解作用が地盤の浸入性を増大させて侵食を抑制する一方において、表土の耐食性が低下しているため、降雨条件が厳しい場合には侵食が促進される、などの点が確認された。

5. まとめ

傾斜試験枠において、冬期の積雪、凍結挙動、および春期の融雪、融凍、流出、侵食流亡挙動などを観測し、積雪寒冷地の農地保全問題について検討を加えた。得られた知見は以下のとおりである。

1) 春先の昇温にともない、除雪枠では融凍流出が、積雪枠では融雪流出が発生する。降雨によりこれらは促進されるが、融雪・融凍期間の水土流出量は積雪枠より除雪枠の方が大きくなる。

2) USLE の融雪流出係数 R_s に関する検討を行った。このなかで、冬期間降水量から R_s への換算係数は USLE の設定値よりかなり小さく、12月～3月降水量で $1/60$ 、降雪相当水量で $1/40$ 、融雪時積雪相当水量で $1/20$ 程度に評価された。

3) 融雪・融凍後の降雨～流出は、除雪枠より積雪枠の方が明らかに大きい。この原因は、凍結～融解により地盤の透水性が増大したためである。

4) 除雪枠の降雨侵食状況を冬の前後で比較すると、降雨の性質によって流亡土量は変化する。すなわち EI_{30} 値の小さな降雨では、前後でほとんど変わらないが、 EI_{30} 値の大きな降雨では、凍結～融解後の春の方が流亡土量は大きい。

6. あとがき

積雪寒冷地域には、その気象的特性に関わる農地保全問題が存在する。地盤が凍結する地域では比較的長時間にわたる融雪過程が、また多雪地域では比較的短時間に進む融雪過程が、それぞれ表土の流亡をうながす。これに対して、農地の設計管理システム、ならびに有効な防災措置を確立することは、積雪寒冷地域での営農活動や地域環境保全上きわめて重要な課題である。本報告では、融雪・融凍にともなう流出ならびに土壌流亡特性について検討を加え、いくつかの知見を得た。しかし、凍結地盤上へ

降った雪の融雪過程における挙動が把握できていない点や全体のデータ数不足など、残された問題点も多い。今後データの集積をはかって融雪流出係数の見直しを行うなど、積雪寒冷地域特有の農地保全問題の対策樹立を目指して検討をすすめたい。

本研究をすすめるに当たり、御助力と御教示いただいた土地改良学教室各位に対し感謝の意を表す。

引用文献

1. 北海道開発局：農地造成（改良山成工）の防災に関する実態調査，p. 18, (1983)
2. 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. 282-291, (1987)
3. 長沢徹明，梅田安治：土の耐食性に及ぼす凍結融解作用の影響—凍結・融解土の特性に関する研究（V）—，農土論集 94：pp. 48-54, (1981)
4. 八嶽利助，藤井重人：融雪水及び凍土の融解水による土壌の侵食について，北大農邦文紀要 1(3)：pp. 216-221, (1953)
5. 佐藤裕一：土壌の凍結融解と侵食について，農土論集 44：pp. 28-33, (1973)
6. 間宮 清，千葉幸治：火山灰のり面の凍結・凍上・融解に伴う挙動について，応用地質年報 7：pp. 85-101, (1985)
7. 沢田則彦，菅野徳久，岸 洋一：改良山成造成畑における融雪の実態，土木試験場月報 399：pp. 13-24, (1986)
8. USDA：Predicting Rainfall Erosion Losses, A Guide to Conservation Planning：pp. 7-8, (1978)
9. 長沢徹明，梅田安治，井上 京，李 里漫：傾斜枠試験による土壌流亡挙動の研究（I）—1988年秋期における裸地区の水食—，北大農邦文紀要 17(1)：pp. 11~17, (1990)
10. 木下誠一，福田正己，矢作 裕：北海道における土の凍結深の分布，自然災害資料解析 5：pp. 10-15, (1978)
11. 菅原正巳：流出解析法，（共立出版），pp. 99-105, (1979)
12. 前出 8：pp. 3~4
13. 細山田健三，藤原輝男：侵食流亡土量予測に関するUSLEの適用性について（I）—USLE適用性の背景および降雨係数—，農土誌 52(4)：pp. 43-49, (1984)
14. 国立天文台：理科年表，（丸善）：p. 198, (1989)
15. 加藤 徹：積雪地河川における融雪期日流量の推算方法に関する研究，宮城農短大紀要 6：pp. 129-189, (1988)

Summary

Observation of snow depth and ground freezing in winter, thawing of freezed ground, melting of snow, runoff and soil loss in spring made by slope-lysimeter. The conservation of farmland in snowy, cold region was examined by these data and the following results were obtained:

1) Runoff and soil loss occurred with melting of snow and thawing of freezed ground in early spring, and these behaviors were accelerated as rainfall added in this period. Runoff and soil loss were much greater in the snow cleared (i. e. ground freezing) lysimeter than in the snow covered lysimeter.

2) A multiplier to calculate the subfactor R_s for snowmelt was discussed with precipitation, water-stage amount of snowfall from Dec. to Mar. and water-stage amount of snow depth in early spring, and all values of multiplier were smaller than that of USLE as the ratio is 1/60, 1/40 and 1/20 respectively to the original.

3) In spring, the runoff was evidently greater in the snow covered lysimeter than in the snow cleared lysimeter after thawing. It was caused by increasing the permeability of the snow cleared lysimeter through the freeze-thaw process.

4) It was compared the soil loss before and after the freeze-thaw period. The soil loss changed by characteristics of the rainfalls. That is, the soil loss was unchanged before and after this period with the rainfall of small EI_{30} value. But the soil loss was larger after the period than the before with the rainfall of large EI_{30} value.