

酪農地域・傾斜試験枠における 耕起作業と土壌侵食に関する経年評価 —地域整備方向検討調査業務における調査研究事例—

帯広畜産大学 畜産学部 畜産科学課程 ○小向 映瑠
釧路開発建設部 農業環境保全対策官付 小野 学
株式会社アルファ技研 事業部 瀬戸 明良

釧路管内浜中町のUSLE傾斜試験枠（裸地3枠・草地1枠）で降水量・流亡土量の観測および各種土質試験を経年で実施した。耕起した裸地枠では表層土（0～10cm）の透水性が良好であり、地下浸透水の増大（地表流去水の減少）にともない少降水時の土壌侵食を抑制していた。一方、裸地3枠の下層土（10cm以下）は難透水状態であり、表層土が飽和した後は降雨や融雪水が地表面を流下するため耕起した裸地枠からも多量の土壌侵食・流亡が確認されていた。

キーワード：USLE、流亡土量 A 、降雨係数 R 、耕起作業、透水係数、土壌流亡特性

1. はじめに

釧路開発建設部では釧路管内浜中町の農地再編整備を主とした国営事業を推進すべく、2022年度より地域整備方向検討調査業務「浜中地域」を実施している。今後、土砂流亡の抑制に配慮した圃場整備・排水改良等を通して、風蓮湖を含む下流域の生態系に調和した地域全体としての持続的な一次産業の展開を目指している。

侵食流亡土量の予測には、現在も世界的に広く使用されているUSLE（Universal Soil Loss Equation、汎用土壌流亡量予測式）が適用されてきた。USLEでは、以下の6つの因子を定量化した係数の積により予測する流亡土量を算出する。

$$A=RKLS\text{C}P \quad (1)$$

A ：流亡土量（ t/ha ）， R ：降雨係数（ $\text{m}^2\cdot\text{tf}/(\text{ha}\cdot\text{h})$ ）， K ：土壌係数（ $\text{t}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{tf})$ ）， L ：斜面長係数（以下、無次元）， S ：傾斜係数， C ：作物係数， P ：保全係数（ L と S をあわせて， LS ：地形係数ともいう）

北海道内でも国営事業等による農地開発事業に伴い、傾斜農地や造成農地法面からの土壌侵食は以前から問題視されてきた（長澤ら^{1,2)}，辻ら³⁾）。土壌侵食は貴重な表土の流亡による農地生産性の低下にとどまらず、下流域の生態系に負の影響をもたらす。

北海道東部の大規模酪農地域に広がる採草放牧地では、草地更新時に圃場面が裸地状態になる期間がある。このため、地域全体の生態系に調和した圃場整備・排水改良等を展開するには、圃場面から発生する侵食流亡土

量を許容範囲以下へ抑制するための取組みが必要であり、実際の流亡土量を定量把握することが不可欠である。

小林ら⁴⁾は、北海道東部・釧路管内浜中町の牧草地内で2022年春季に設置したUSLE傾斜試験枠からの流亡土量の測定および表層土の土質試験、近傍での降水量の連続測定を実施し、酪農地域における傾斜地からの土壌流亡性に関する基礎的検討を加えた。その結果、2022年と比較して2023年における営農期（5～10月）の降雨量・降雨係数 R は小さく、耕起した裸地枠では表層土（深さ0～10cm）の流亡土量は顕著に少なかった。このため、比較的大きな危険降雨はもとより、融雪期における裸地土壌に関する耕起～流亡性を評価できるデータの取得が求められていた。

たとえば長澤ら⁵⁾は、北海道東部・十勝管内浦幌町で実施された国営農地開発事業「稲穂地区」において傾斜畑からの侵食流亡性を評価する中で、秋播コムギ収穫後の耕起作業を通じて土壌の流亡性（下流端に設置した沈砂池の浮流土砂濃度）が高まったことを報告している。このように、営農としての耕起作業は傾斜地からの土壌流亡性に影響を及ぼすものであり、両者の関係を解明するには今後さらなる調査研究を通じた有用な知見の積み重ねが必要となる。

この研究では、小林ら⁴⁾が実施した北海道東部・釧路管内浜中町内におけるUSLE傾斜試験枠からの流亡土量の測定および表層土の土質試験、近傍での降水量の連続測定などの調査研究を2023年11月以降も1年間継続した。ここでは、2023年5月～2024年10月までの結果をもとに、耕起作業の有無が傾斜地の土壌流亡性に及ぼす影響を評価し、傾斜農地（裸地）における土壌流亡挙動（メカニズム）について検討を加える。

2. 傾斜試験枠での現地調査および室内土質試験

釧路管内浜中町内の草地圃場を対象としてUSLE傾斜試験枠（裸地3枠・草地1枠）を2022年春季に作製し、その近傍に転倒マス式雨量計を設置した。現地では、2022年6月～10月、2023年5月～10月および2024年5月～10月の営農期を対象として降雨の侵食性および土壌の流亡性を評価した。また、2024年2月下旬～4月下旬（融雪期）には流亡土量などを測定した。加えて、2023・2024年には傾斜試験枠内の中央部から採取した不攪乱状態の採土を用いて透水性・保水性試験を実施した。あわせて、攪乱状態で採取した表層土・新規客土および傾斜試験枠からの流亡土について各種土質試験を実施した。

(1) 傾斜試験枠と現地調査

傾斜試験枠（計4枠）のうち、裸地枠①②③の形状はUSLE標準規格（斜面長22.1m、幅1.8m、勾配9%、北向き斜面）に準じて作製された（図-1）。2023年春季には裸地枠の勾配や不陸などの現況地形を微修正し、表層土（作土層）を表土扱いした。2024年融雪後（5月中旬）における裸地3枠①②③の勾配は8.7～8.9%となり、融雪の影響により圃場面にリルが生じたり凹凸が発生したりしていた。そのため、周辺の土壌を用いて客土し、9.0%勾配になるよう不陸修正した。草地枠は現況の緩傾斜草地（北向き斜面）をそのまま利用しており、草地枠④では作製後から試験終了時まで5.9%勾配であった。

傾斜試験枠のうち、2022年の裸地枠①②③および2023・2024年の裸地枠①②ではレーキを用いて地表面下5cm程度の深さで地表面を適宜整地した。2023・2024年の裸地枠③では、月1回程度の頻度でスコップを用いて10cm以上耕起した後にレーキを用いて地表面を整地し

た。これら裸地枠①②③では、耕起・整地作業にあわせて定期的な雑草除去にも努めた。なお、草地枠④では周辺の採草地と同様の圃場管理として調査期間中に年2回（7月・9月）の草刈りを実施した。

(2) 降雨量の測定と降雨の侵食性評価

傾斜試験枠近傍に転倒マス式雨量計を設置し、調査3年（営農期）における降水量を10分間隔で連続測定した。ここで得られた降雨データをもとに降雨の侵食性（降雨係数 R ）を以下の手順で算出した。

$$E_k = 210 + 89 \log_{10} k \quad (2)$$

$$E = \sum (E_k \cdot r_k) / 100 \quad (3)$$

$$R = \sum (E \cdot I_{30}) \quad (4)$$

k : 一定強度に区分された各降雨強度 (cm/h)

E_k : 降雨強度の降雨量1cm当たりの運動エネルギー
($\text{m} \cdot \text{tf} / (\text{ha} \cdot \text{cm})$)

r_k : 一定強度に区分された各期間の降雨量 (cm)

E : 侵食性の一連降雨の運動エネルギー
(hundred of $\text{m} \cdot \text{tf} / \text{ha}$)

I_{30} : 一連降雨の30分ピーク降雨強度 (cm/h)

R : 降雨係数 ($\text{m}^2 \cdot \text{tf} / (\text{ha} \cdot \text{h})$)

(3) 流亡土量の測定と土壌の流亡性評価

対象草地土壌は、浜中町内における2つの主な土壌統のうち「浜中統（褐色低地土）」に分類されていた。

調査期間中、USLEにおいて侵食性を有する一連降雨（危険降雨：降雨量12.7mm以上または最大15分間雨量4.5mm以上の一連降雨）が発生した後、各傾斜試験枠からそれぞれの流亡土量を毎回測定し、調査年・期間ごとの流亡土量 A (t/ha) を評価した。

ここで、1.で示したUSLE(1)式に（ $LSCP$ を考慮した上で）2.(2)で算出した降雨係数 R 、ここで測定した流亡土量 A を代入し、土壌係数 K ($\text{t} \cdot \text{h} / (\text{m}^2 \cdot \text{tf})$)を算出することができる。なお、3.(2)で後述するように、草地枠④からは調査期間中に流亡土砂が確認されなかった。

(4) 土壌物理性評価

傾斜試験枠内（裸地枠①②③および草地枠④）の中央部（深さ0～10cmおよび10～20cmの位置）における土壌を100cm³ステンレス試料円筒（採土管）を用いて不攪乱状態で採土した。採取日は2023年11月12日、2024年5月12日・8月12日・11月4日である。最終日（同年11月4日）には深さ20～30cmからも採土した。実験室に搬入した後、土の飽和透水試験（変水位）および土の保水性試験（pF試験：土柱法・遠心法）を日本工業規格（JIS）等に準じて実施した。

傾斜試験枠内の裸地枠①②③の中央部付近から攪乱状態で2023年8月25日に表層土（地表面下0～5cm程度）を

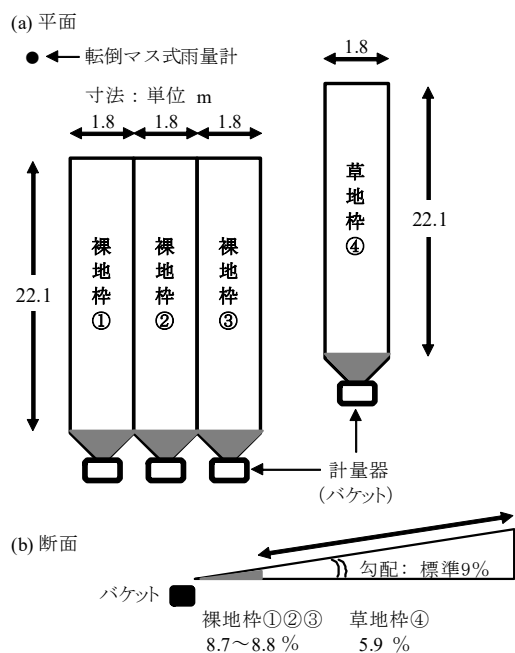


図-1 USLE 傾斜試験枠の平面的概念図

採取し、2024年5月14日には傾斜試験枠の不陸整正に用いた新規客土を採取した。実験室内で空気乾燥させた後に2mmふるい（一部は0.425mmふるい）を通過させた。その後、JISにもとづき、土の強熱減量試験、土粒子の密度試験、土の液性限界・塑性限界試験および土の粒度試験などを実施した。地盤材料の工学的分類方法（JGS 0051-2020）を参考に、対象草地の周辺状況・地質的背景のほか、これらの土壌を観察するなど総合的に評価した結果、裸地枠①②③の表層土および新規客土はいずれもシルト（高液性限界，MH）に分類された。

さらに、2. (3) で傾斜試験枠（裸地枠①②③）から融雪水および大きな危険降雨などで流亡した土の粒度試験を実施し、圃場管理作業の違い（耕起の有無）と流亡土砂の粒度特性について経年評価を加えた。

3. 結果および考察

(1) 降雨の侵食性評価

2. (3) で前述したように、USLEでは、一連の降雨量が12.7mm以上または最大15分間雨量が4.5mm 以上のものを侵食性の降雨（危険降雨）と判定している。

最近2か年に観測された侵食性の一連降雨の回数、期間降水量、降雨係数 R をみると、2023年には17回、360.5mm、 $82.8\text{m}^2\cdot\text{tf}/(\text{ha}\cdot\text{h})$ 、2024年には13回、436.5mm、 $243.8\text{m}^2\cdot\text{tf}/(\text{ha}\cdot\text{h})$ であった（表-1(a)(b)）。

このように、危険降雨の回数は2023年で多く、降水量および降雨係数 R （降雨エネルギー評価）は2024年で圧倒的に大きかった。同年8月30日～31日には非常に大きな危険降雨があり、この間の降雨量は101.5mm、 EI_{30} 値は $140.7\text{m}^2\cdot\text{tf}/(\text{ha}\cdot\text{h})$ であった（表-1(b)）。

2023年11月以降～2024年2月中旬までの冬期間、表面流去水は発生していなかった。融雪期（2024年2月27日～4月26日）に発生した流去水を2024年2月29日時点での積雪深（平均値12cm）・積雪密度（平均値 $0.26\text{g}/\text{cm}^3$ ）をもとに換算すると降水量31.2mmに相当していた。

(2) 傾斜試験枠からの流亡土量評価

最近2か年におけるUSLE傾斜試験枠からの流亡土量 A を図-2(a)～(c)に示す。

はじめに、草地枠④では融雪期・大降雨時を含めて調査期間中に流亡土砂は観測されなかった。このように、牧草の繁茂（土壌表面の被覆）が土壌侵食の抑制効果を経年的に発揮していた。

ここで、裸地枠①②③の流亡土量を期間別に比較した。2023年営農期（5～10月）の流亡土量は整地のみ裸地枠①②でそれぞれ15.6 kg、14.3kgと比較的多く、定期的に耕起した裸地枠③では流亡土量が0.934kg（裸地枠①②の15分の1以下）に抑制されていた（図-2(a)）。

2024年融雪期（2月下旬～4月下旬）の流亡土量は裸地枠①②でそれぞれ4.1kg、4.5kg、裸地枠③では2.5kgであり、冬期を迎える前に耕起した場合であっても土砂流出抑制割合は39～45%程にとどまっていた（図-2(b)）。

2024年営農期（5～10月）の流亡土量は裸地枠①②でそれぞれ80.6kg、82.2kgと多く、裸地枠③でも48.2kgであり、月1回程度の耕起を通じた土壌流亡抑制割合は39～41%程度にとどまっていた（図-2(c)）。

このように、降雨・融雪エネルギーの大きさ次第では裸地枠③でも土壌侵食が認められた。融雪期・営農期ともに、（整地のみ裸地枠と比較して）耕起を施した裸地枠でも55～61%程度の土砂が流亡していた。

表-1 危険降雨と降雨係数 R の算出

(a) 2023年 一連降雨 期間（月日～月日）	一連 降雨量 (mm)	$E\cdot I_{30}$ ($\text{m}^2\cdot\text{tf}$ / $(\text{ha}\cdot\text{h})$)
5月 21日	13.0	1.6
5月 29日 ～ 5月 30日	13.0	2.7
6月 2日 ～ 6月 3日	33.0	10.7
6月 7日	11.5	5.7
6月 30日 ～ 7月 1日	27.5	6.5
7月 6日	16.0	3.1
7月 12日 ～ 7月 13日	20.0	3.1
7月 15日 ～ 7月 16日	19.0	1.6
7月 17日	13.0	4.9
8月 7日	7.5	2.6
8月 7日 ～ 8月 9日	26.0	5.3
9月 4日 ～ 9月 5日	21.5	4.4
9月 14日 ～ 9月 15日	35.5	14.6
9月 21日 ～ 9月 22日	19.5	1.3
9月 28日 ～ 9月 29日	22.5	3.3
10月 1日	24.0	5.8
10月 10日	38.0	5.6
合計 17 回	360.5	82.8

(b) 2024年 一連降雨 期間（月日～月日）	一連 降雨量 (mm)	$E\cdot I_{30}$ ($\text{m}^2\cdot\text{tf}$ / $(\text{ha}\cdot\text{h})$)
5月 24日 ～ 5月 25日	13.5	0.7
6月 10日	31.0	9.4
6月 16日	18.0	8.7
7月 29日 ～ 7月 30日	60.5	20.1
8月 8日	24.5	10.7
8月 11日 ～ 8月 12日	17.5	3.5
8月 22日 ～ 8月 23日	20.5	3.4
8月 27日 ～ 8月 28日	37.5	14.3
8月 30日 ～ 8月 31日	101.5	140.7
9月 15日	29.5	15.5
9月 27日	17.0	1.9
10月 19日	29.5	6.6
10月 23日 ～ 10月 24日	36.0	8.3
合計 13 回	436.5	243.8

いま、2024年8月30～31日に発生した大きな危険降雨（降雨量101.5mm, EL_{50} 値 $140.7\text{m}^2\cdot\text{tf}/(\text{ha}\cdot\text{h})$ ）時の流亡土量は整地のみの裸地枠①②でそれぞれ45.5kg, 49.4kg, 耕起した裸地枠③でも47.3kgであり、耕起作業の有無にかかわらずすべての裸地枠で大量の土砂が流亡していた（図-2(c)灰色部分）。このとき、2024年営農期の裸地枠①②において全流亡土量に対する大降雨時の流亡土量の割合は56～60％であり、営農期における大降雨時の EL_{50} 値の割合（58％）と同程度であった。

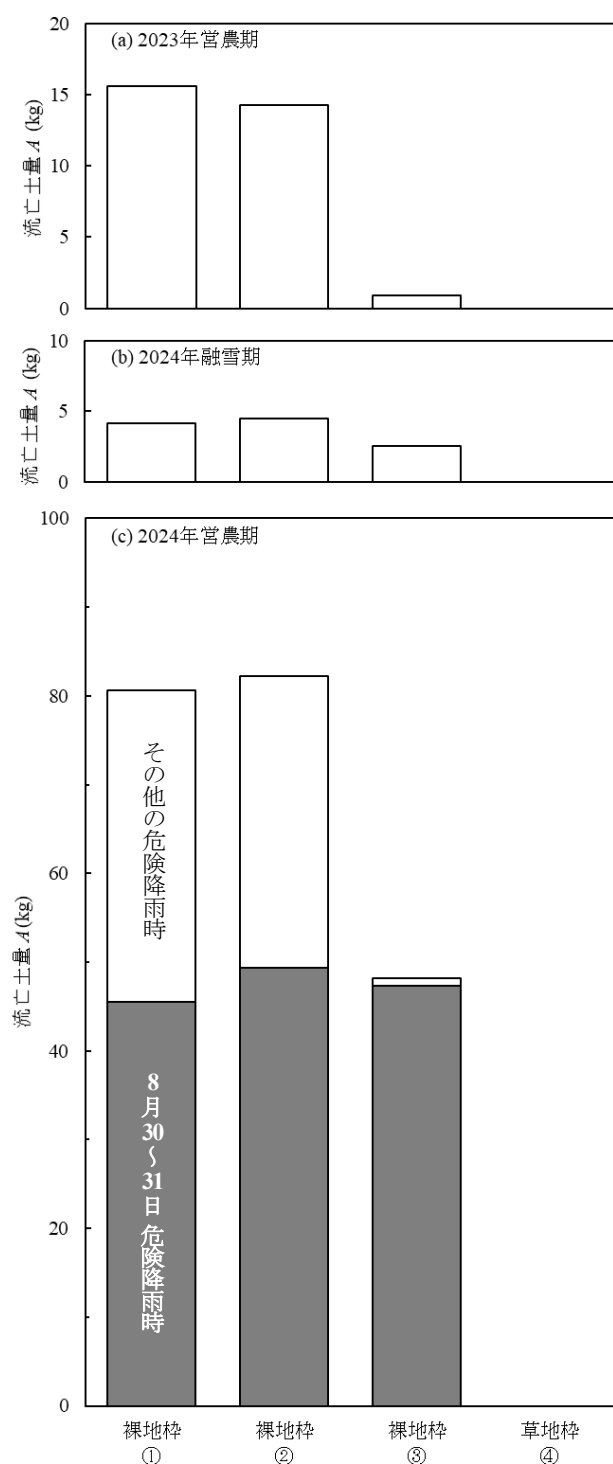


図-2 USLE 傾斜試験枠からの流亡土量 A

2024年営農期（5～10月）の全流亡土量から同年8月30～31日間の流亡土量を差し引くと、整地のみ裸地枠①②でそれぞれ35.1kg, 32.9kg, 耕起した裸地枠③では0.877kg（裸地枠①②の37分の1以下）となり、2023年営農期と同様の傾向を示していた（図-2(c)白抜き部分）。この間の降雨量は335.0mm, EL_{50} 値は $103.1\text{m}^2\cdot\text{tf}/(\text{ha}\cdot\text{h})$ であった。

以上の結果、 EL_{50} 値が $20\text{m}^2\cdot\text{tf}/(\text{ha}\cdot\text{h})$ 程度以下のような比較的小さな一連降雨（危険降雨）の場合、耕起した裸地枠③では流亡土量が非常に少なかった。一方、 EL_{50} 値が $100\text{m}^2\cdot\text{tf}/(\text{ha}\cdot\text{h})$ 級の大きな危険降雨が発生した場合、耕起作業のみでは土壌流亡を回避できなかった。また、融雪期において耕起履歴を有する裸地枠③では整地のみの裸地枠①②と比較して60％程度の土砂が流亡していた。このように、調査年・期間ごとの流亡土量 A には、耕起作業の有無のみならず、降雨係数 R (EL_{50} 値) の大きさや融雪の影響などが複合的に関与していた。

(3) 傾斜試験枠内の土壌物理性・流亡性評価

傾斜試験枠（裸地枠①②③および草地枠④）の中央部において、調査期間中に採取された不攪乱土における飽和透水試験（変水位）の結果を表-2(a)～(d)に示す。

このとき、裸地枠①②③では調査期間を通して深さ10～30cmの不攪乱土の透水係数はおおむね 10^{-6} オーダー（ $4.7\times 10^{-5}\sim 7.5\times 10^{-7}\text{cm/s}$ ）となり、傾斜試験枠内の透水性はいずれも劣悪であった。これは、2021年以前に草地利用されていたため、農作業機械によって圃場が経年的に転圧を受けていたことが一因と考えられる。

表層土（深さ0～10cm）では土の透水性に大きな差が認められた。軽微な整地のみを実施してきた裸地枠①②では土の透水係数が $1.4\times 10^{-4}\sim 1.6\times 10^{-6}\text{cm/s}$ の範囲にあり、不攪乱土の採取時期によって差はあるが表層土の透水性（ $10^{-5}\sim 10^{-6}$ オーダー）は比較的不良であった。一方、耕起してきた裸地枠③で $2.3\times 10^{-2}\sim 6.0\times 10^{-4}\text{cm/s}$ 、草地枠④では $3.7\times 10^{-3}\sim 4.0\times 10^{-4}\text{cm/s}$ の範囲にあり、土の透水性は比較的良好であった。裸地枠③は定期的な耕起作業を通じて表層土が膨軟になり、通水性の改善につながっていた。また、草地枠④の表層土付近は牧草の根群域であり、連続的な間隙が多数存在することで通水性が確保できていたと考えられる。

また、土の保水性試験（pF試験：土柱法・遠心法）の結果を水分特性曲線で見ると、小林ら⁴⁾の実験結果と同様であった（今回：図示なし）。透水係数が 10^{-6} オーダーを示した土供試体では、pF1.0からpF2.0に変化する間で含水比はほとんど減少しておらず、pF2.5までを含めて含水比に大きな差はみられなかった。一方、2024年の大降雨時・融雪期における裸地枠①②③からの侵食流亡土の粒度試験結果は小林ら⁴⁾とは異なる傾向を示した（今回：図示なし）。シルト分・粘土分（0.075mm未満）が大降雨時で64.3～69.8％、融雪期でも72.8～77.2％を占めていたが、礫分はいずれも0.5～1.1％の範囲内であり、耕起作業の違いによる大きな差は認められなかった。

(4) 傾斜農地（裸地）における土壌流亡挙動

以上をもとに、耕起作業の有無が傾斜地の土壌流亡性に及ぼす影響を評価し、傾斜農地（裸地）における土壌流亡挙動（メカニズム）を現時点で考えてみた。

一般に、表層土の透水性が改善すると地下浸透水が増大して地表流去水の減少が期待される。このとき、耕起した裸地枠③では表層土（深さ0～10cm）の間隙中に一定程度の降雨を浸透・貯留することができる。このことが、比較的小さな危険降雨時における地表流去水を減少させ、土壌侵食・流亡を低減させていた可能性が高い。

しかし、大きな危険降雨時には表層土中の間隙が飽和した後もさらに降雨が継続する。このとき、耕起した土壌の下層土（深さ10cm以下）は透水性が不良であるため雨水は地下へ浸透しきれない。こうして地表を流去した雨水が多量の土壌を流亡していたと考えられる。

また、冬期間の傾斜試験枠周辺では、地表面から数10cm程度の深さまで土壌凍結が認められ、表層土内での融雪水の貯留効果もあまり期待できない状況であった

表-2 傾斜試験枠・作土層の透水係数

(a) 2023 年 11 月 12 日採取

深さ (cm)	透水係数 (cm/s)			
	裸地枠①	裸地枠②	裸地枠③	草地枠④
0～10	6.7×10^{-6}	1.6×10^{-6}	6.0×10^{-4}	9.4×10^{-4}
10～20	6.8×10^{-6}	2.1×10^{-6}	7.1×10^{-6}	1.1×10^{-6}

(b) 2024 年 5 月 12 日採取

深さ (cm)	透水係数 (cm/s)			
	裸地枠①	裸地枠②	裸地枠③	草地枠④
0～10	5.6×10^{-6}	1.4×10^{-4}	7.7×10^{-3}	3.7×10^{-3}
10～20	2.6×10^{-6}	2.8×10^{-5}	7.5×10^{-7}	3.9×10^{-5}

(c) 2024 年 8 月 12 日採取

深さ (cm)	透水係数 (cm/s)			
	裸地枠①	裸地枠②	裸地枠③	草地枠④
0～10	1.6×10^{-5}	2.6×10^{-6}	2.3×10^{-2}	4.0×10^{-4}
10～20	4.2×10^{-6}	5.9×10^{-6}	3.9×10^{-6}	4.7×10^{-5}

(d) 2024 年 11 月 4 日採取

深さ (cm)	透水係数 (cm/s)			
	裸地枠①	裸地枠②	裸地枠③	草地枠④
0～10	7.5×10^{-5}	2.0×10^{-5}	5.3×10^{-3}	1.0×10^{-3}
10～20	3.8×10^{-6}	2.4×10^{-6}	1.3×10^{-5}	3.8×10^{-6}
20～30	1.4×10^{-6}	1.3×10^{-6}	3.6×10^{-6}	1.2×10^{-6}

ことが想定される。よって、30mm程度の融雪水の多くが地下浸透せずに地表面をゆっくり流下することで土壌流亡を促進していたと推察できる。

このように、大きな危険降雨時や融雪期には耕起にともなう土壌侵食抑制機能はあまり発揮されていなかった。傾斜農地（裸地）における土壌流亡挙動（メカニズム）の解明には、作土層中の固相率や飽和度など土壌物理作用に関するより詳細な検討があわせて求められる。

4. おわりに

北海道東部釧路管内浜中町（酪農地域）における傾斜農地（裸地・草地）からの土壌流亡性を評価する中でいくつかの知見が得られた。なかでも、圃場管理条件が同程度の裸地状態の流亡土量 A では、降雨係数 R の影響を大きく受けるとともに、圃場における耕起作業の有無が土壌の流亡性にインパクトをもたらしていた。

最近の調査2か年では、斜面における作物（牧草）の有無のみならず、降水量・ EI_{30} 値、耕起作業の有無により流亡土量 A は大きく異なっていた。これらのデータをもとに土壌係数 K を算出して土壌流亡性を評価（妥当性を判断）していく段階にきていると著者らは考える。

2025年1月9日現在、土質試験の一部が未完了であり、融解・融雪期における降雨係数 R の補正⁹⁾や土壌係数 K の算出・評価など検討すべき点も多い。これらに関する結果および考察を加え、傾斜農地（裸地）における土壌流亡挙動（メカニズム）を検証していく予定である。

謝辞：地域整備方向検討調査業務「浜中地域」を推進する上で、帯広畜産大学教授・宗岡寿美博士ならびに寒地土木研究所の各位には調査の方向性に関する示唆を賜り、調査・実験データ取得に格段のご尽力を賜った。以上の関係諸機関各位に対して心より感謝の意を表する。

引用文献

- 1) 長澤徹明・梅田安治・大西峰隆：降雨係数の推定に関する雨水と融雪水の影響—北海道における土壌侵食抑制に関する研究(Ⅲ)—，農業土木学会論文集 167, pp.97～102 (1993) .
- 2) 長澤徹明・梅田安治・大西峰隆：侵食流亡土量の推定に関する土壌と作物栽培の影響—北海道における土壌侵食抑制に関する研究(Ⅳ)—，農業土木学会論文集 176, pp.169～175 (1995) .
- 3) 辻修・松田豊・土谷富士夫：寒冷地における造成農地法面の土壌侵食—十勝地域における農地保全に関する研究(Ⅰ)—，農業土木学会論文集 186, pp.43～51 (1996) .
- 4) 小林竜也・酒井二央・北條洋史：酪農地域における傾斜地からの土壌流亡性評価に関する基礎的検討—地域整備方向検討調査業務における調査研究事例—，第 67 回北海道開発技術研究発表会，食-1(農) (2024)
- 5) 長澤徹明・梅田安治・井上京・宗岡寿美：傾斜畑における営農と土壌保全問題，土壌の物理性 71, pp.47～51 (1995) .
- 6) 農林水産省構造改善局計画部資源課：土地改良事業計画指針，農地開発（改良山成畑工），pp.158～178 (1992) .