積雪寒冷地にみる崩落表土の播き出し材料としての利用可能性

坂本なつ子¹⁾・内田泰三²⁾³⁾

1) 帯広畜産大学大学院畜産学研究科 Grad. Sch. of Agri. Sci., Obihiro Univ.

2) 日本学術振興会 JSPS Res. Fellow

3) 帯広畜産大学畜産学部 Obihiro Univ. of Agri. and Vet. Med.

摘要: 積雪寒冷地における多くの谷では、冬季間に谷壁斜面の積雪が谷底面へと崩れ、堆積する。また、春先の融雪期には、谷壁斜面の表土が多分に水分を含み、前記谷底面の雪上に崩落する（以下、崩落表土）。本研究では、崩落表土の播き出し利用を目的に、その基礎として崩落表土の成立環境、成分組成ならびに崩落表土からの実生の出現について検討した。結果は以下の通りであった。崩落表土は傾斜が急で木本が定着し難い立地に多く成立した。崩落表土はその成分組成から大きく3群に類型化され、無機物を主体とする群、有機物を主体とする群、ならびに前記両群の中間型に位置する群に特徴づけられた。しかしこれら3群の崩落表土において、播き出し後の実生の出現種数ならびに総出現個体数に有意な差異はなく、いずれの群においても多数の実生が確認された。崩落表土からの実生の出現には、播き出し厚さならびに播き出し面積が密接に関係しており、また低温保存の影響はみられなかった。

キーワード: 崩落表土、積雪寒冷地、緑化、播き出し

SAKAMOTO, Natsuko and UCHIDA, Taizo: **The potential of avalanche soil as a material for revegetation using scattering method in a region with low temperatures and heavy snowfall**

Abstract: In a region with low temperatures and heavy snowfall, snow from valley sideslope avalanches builds up on most valley floors. Subsequently in early spring, rain and snowmelt runoff cause debris avalanches that deposit topsoil on the snow; creating "avalanche soil". The avalanche soil does not contribute to the succession of new vegetation in the runoff zone because germination and plant growth are inhibited by the presence of the underlying snow. In this study, the surroundings, composition and germination characteristics of buried viable seeds of avalanche soil were examined using the scattering method. The avalanche soil used was deposited in valleys with steep treeless slopes. Avalanche soil can be classified into three groups based on their composition; mainly organic matter, mainly mineral matter and organic/mineral. After classification, samples of the three groups of avalanche soils were collected and tested using the scattering method. After that, numerous seedlings naturally appeared. The number of species and individuals that occurred were not significantly different among the soil groups. The chance of seedlings sprouting from avalanche soil depends on the thickness of the scattered soil or area covered. Exposure to low temperatures had no effect on the seeds in the soil. Therefore, avalanche soil can be utilized as a new material for the revegetation.

Key words: avalanche soil, region with low temperatures and heavy snowfall, revegetation, scattering

1. 序 論

1995年の「生物多様性国家戦略」に引き続き、2002年には「新・生物多様性国家戦略」が策定されるなど、生物多様性保全への配慮は不可欠なものとなっている。これは種々の緑化事業においても同様であり、緑化植物の選定には生物多様性保全に鑑み、移入種より自生種の利用が、さらに自生種においても地域性系統の利用がより強く求められている²⁾。そこで近年の緑化事業においては、地域性種苗や地域内の表土播き出しが多用される。特に後者においては、土中に多様な自生種子が含まれることが多く、生物多様性保全により鑑みた緑化手法として大きく期待されてい

る^{4-7,9,11,12,14,15,18,21,23,28-32)}。

他方、積雪寒冷地における多くの谷では、冬季間に谷壁斜面の積雪が谷底面へと崩れ、堆積する現象が生じる⁸⁾。また、春先の融雪期には、谷壁斜面の表土が多分に水分を含み、前記谷底面の雪上に崩落する^{1,10,16,17,25)}（以下、崩落表土 (avalanche soil): 写真-1(I)）。これらの崩落表土からは実生が確認されるが、谷底面に堆積した雪の多くは残雪として初夏まで融解せず、これは実生の生育期間を短縮あるいはその生育を阻害する¹⁷⁾。さらに、残雪の融解時には崩落表土の多くが河川へ流出すること（写真-1(II)）からも自然状態で放置された崩落表土が植生更新に寄与することは稀と考える。しかし、崩落表土からは実生が確認されることから、このような

写真-1 積雪寒冷地にみられる崩落表土

(I) 谷底面の残雪、崩落表土および雪崩防止柵（写真中央奥）。(II) 残雪の融解と崩落表土の河川への流出。

Photo. 1 Avalanche soil in a region with low temperatures and heavy snowfall. (I) Remaining snow, avalanche soil and snow fence in a valley bottom. (II) Avalanche soil run off as remaining snow melts.

崩落表土を播き出し材料として利活用することは、生物多様性を考慮した緑化工体系に大きく貢献すると考えられる。

そこで本研究では、崩落表土の播き出し材料としての利活用を目的に、その基礎として崩落表土の成立環境、成分組成ならびに崩落表土からの実生の出現について検討した。さらに、崩落表土からの実生の出現については、播き出し面積、播き出し厚さならびに低温保存との対応からも併せて考察した。

2. 方 法

2.1 調査地の概要

調査は谷が散在する国道274号線日高町内の直線距離11 km、海拔高度370~660 mの区間で行った。1/25,000地形図と2003年5月上旬の踏査によって国道から確認できる全ての谷を調査地とした(図-1)。本地域の気温、積算日照時間、積算降水量および最大積雪深は平年値でそれぞれ5.9℃、1,166.9 h, 1,312.8 mm, 90 cmであり¹³⁾、植生帯は針葉樹林帯および落葉広葉樹林帯に属し、エゾマツ(*Picea jezoensis* (Sieb. et Zucc.) Carrière)、トドマツ(*Abies sachalinensis* (Fr. Schm.) Masters)等を主とする針葉樹林および同樹林にダケカンバ(*Betula ermanii* Cham.)、ケヤマハンノキ(*Alnus hirsuta* Turcz.)等が混じる針広混交林が成立する³⁾。

2.2 調査方法

2.2.1 崩落表土の成立環境

2003年5月上旬、各調査地を崩落表土の有無から二分した。次いで二分したそれぞれの調査地について谷幅、海拔高度、傾斜、方位、植生および構造物の有無を調査した。これらの項目を二分した調査地間で比較することで、崩落表土の成立環境について検討した。

各項目の調査は次の要領で8月中旬に行った。まず、谷幅、海拔高度、傾斜、方位を1/25,000地形図から判読した。宗岡

図-1 調査地の概要

(1): 平面図, (2): 立面図, ○: 調査地。図中の数値は調査地番号を示す(No.1-74)。

Fig. 1 Schematic drawings of study plots. (1): Face view, (2): Side view and ○: Study plot. Numerical order in figure indicates study plots number (No.1-74).

らの報告²⁰⁾に準じて方位から積算日射量の多少を推定し、各調査地の積算日射量を4段階で評価した(北~北東および北~北西:1, 北東~東および北西~西:2, 東~南東および西~南西:3 南東~南および南西~南:4)。次いで、植生は樹高2 m以上の木本に着目、谷壁斜面に5 m×10 mの方形枠を設置し、同枠内に成立する木本数を記録した。また覆道、雪崩防止柵および砂防堤を構造物としてその有無を踏査により確認した(写真-1(I)参照)。

2.2.2 崩落表土の成分組成

2003年5月中旬、上記2.2.1で崩落表土のみられた調査地から無作為に24調査地点を抽出した。これらの各調査地点に1 m×1 mの方形枠を1つ設置し、同枠内の崩落表土を全て採取した。採取した崩落表土は105℃、96 hの通風乾燥後、葉部、枝部および土壌に分別、さらに土壌は地盤工学会⁸⁾に準じて礫、砂およびシルト+粘土に分別後、それぞれを秤量した。また、土壌はJIS規格に準じて750℃、2 hで強熱、強熱減量を有機物、残渣を無機物として秤量した。

上記の各秤量項目を崩落表土の成分組成とし、これらを変量に24調査地点の崩落表土をクラスター分析(群平均法)により類型化した。

2.2.3 崩落表土からの実生の出現

以下の播き出し試験を帯広畜産大学地域共同研究センター温室内にて適宜灌水、室温25℃、遮光20%の環境条件下で行った。本試験には実生出現法²⁾を適用、また全ての播き出し床には、バーミキュライトを9 cmの厚さで用いた。以下の1)および3)では実生の出現種とその個体数を、2)では実

生の出現種のみを調査した。

1) 崩落表土の播き出し

2003年5月下旬, 上記2.2.2で類型化された各群から無作為に3~7調査地点を抽出, それぞれの崩落表土を採取した。これらは面積2,160 cm², 厚さ5 cmで播き出した。崩落表土に代わってバーミキュライトを播き出すコントロールも同様に設けた。播き出し期間は2003年5月下旬~10月下旬とした。

2) 面積ならびに厚さを異にした崩落表土の播き出し

2003年5月下旬, 上記2.2.2で類型化された各群から無作為に1調査地点を抽出, それぞれの崩落表土を採取, 混合した。

これらは重ねワク法²⁶⁾により22.5~2,160 cm²まで14段階の面積を設定, 厚さ5 cm, 5反復で播き出した。

また, 1~8 cmまで8段階の厚さを設け, 面積720 cm², 3反復で播き出した。これらの播き出し期間は2003年5月下旬~10月下旬とした。

3) 低温保存後の崩落表土の播き出し

上記2)で採取, 混合した崩落表土を2003年5月下旬~2004年3月下旬まで帯広畜産大学内のヒートパイプ型低温貯蔵庫で低温保存した。保存後の崩落表土は面積720 cm², 厚さ5 cm, 3反復で播き出した。播き出し期間は2004年3月下旬~8月下旬とした。保存前の崩落表土を2003年5月下旬~10月下旬まで播き出すコントロールも同様の面積, 厚さ, 反復数で設けた。

ヒートパイプ型低温貯蔵庫とは, ヒートパイプにより形成させた凍土を農畜産物等の低温貯蔵に利用する施設であり²⁷⁾, 本試験で使用したヒートパイプ型低温貯蔵庫内外の月平均温度および月平均湿度はそれぞれ庫内で-0.6~2.5℃, 58~80%, 庫外で-6.0~18.7℃, 61~85%であった(図-2)。

2.3 群間の差および独立性の検定

2群間の差の検定には t -検定を, 3群以上の各群間の差の検定にはボンフェローニの多重 t -検定を適用した。また, 崩落表土の有無と構造物の有無との関係については χ^2 独立性の検定を適用した。有意水準は $p=0.05$ に設定した。

3. 結 果

3.1 崩落表土の成立環境

調査地を崩落表土の有無から二分し, 両者の立地条件を図-3に示した。なお, 74調査地のうち崩落表土は44調査地で確認され, これは全体数の59.5%に達した。

両者において, 谷幅, 海拔高度および積算日射量に有意な差異は認められなかったが($p>0.05$), 傾斜および木本数では有意な差異が認められ($p<0.001$), 崩落表土が形成された立地では, それが形成されない立地と比較して傾斜が急で木本数は少なかった。

また, 崩落表土の有無と構造物の有無とは有意に関係しており(表-1), 崩落表土の形成された立地では, 構造物がみられることが多かった($p<0.001$)。

3.2 崩落表土の成分組成

崩落表土のみられた調査地から無作為に24調査地を抽出, これら調査地の崩落表土をその成分組成から類型化した

図-2 ヒートパイプ型低温貯蔵庫内外の月平均気温および月平均湿度

●: 低温貯蔵庫内, --○--: 低温貯蔵庫外。

Fig. 2 Monthly means of temperature and humidity in and out of low temperature storage room using heat pipe. ●: In, --○--: Out.

(図-4)。最高値の45%を区分基準とした結果, 崩落表土は群I, 群IIおよび群IIIの3群に類型化され, 群Iは13調査地, 群IIは8調査地, 群IIIは3調査地から占められた。

各群における崩落表土の成分組成を表-2に示した。各群で砂およびシルト + 粘土の量に有意な差異は認められなかった($p>0.05$)。これに対して葉部, 枝部, 礫, 総有機物および総無機物の量には各群で有意な差異が認められた($p<0.05$)。すなわち, 群Iは群IIIと比較して葉部, 枝部および総有機物の量が少なく, 逆に礫および総無機物の量は多かった。群IIIは群Iと逆の特徴にあり, また, 群IIは概ね前記両群の中間に位置した。

3.3 崩落表土からの実生の出現

3.3.1 崩落表土の播き出し

上記3.2で類型化された各群から無作為に3~7調査地を抽出, これらの崩落表土をそれぞれ播き出した(表-3)。出現種数ならびに総出現個体数は, それぞれ5~35種, 47~565個体に達した。また, これらに占める移入種の割合は種数で0.0~9.5%, 個体数では0.0~6.3%であった。

各群における出現種数ならびに総出現個体数の平均はそれぞれ, 群Iで22種, 285個体, 群IIでは19種, 322個体, 群IIIでは17種, 162個体であった。これら各群間の出現種数ならびに総出現個体数に有意な差異は認められなかった($p>0.05$)。

なお, 本試験で確認された実生のうち, 北海道レッドデータブックではメヤブマオ (*Boehmeria plataniifolia* Franch. et Savat.) の1種が該当し, 当該地指定種ではエゾタツナミ

図-3 本調査地における崩落表土の有無とその立地条件各項目にはZスコアを用いた。軸上の横棒は標準偏差を示す。¹⁾目盛軸。²⁾スチューデントのt-検定。³⁾ウェルチのt-検定。***: 0.1%水準で有意差あり, N.S.: 5%水準で有意差なし。

Fig. 3 Surroundings of the study plots distinguished by presence of avalanche soil or not. Z-scores were used in each item. Vertical bars against the axes show standard deviation of the mean. ¹⁾Scale for Z-score. ²⁾Student's t-test was use. ³⁾Welch's t-test was use. ***: Significant differences at 0.1% level. N.S.: No significant differences at 5% level.

表-1 本調査地における崩落表土の有無と構造物との関係

Table 1 Presence of structures in each plot distinguished by presence of avalanche soil or not

	Structure		Total	p-value
	Present	Absent		
Avalanche soil	Present	28	44	$p < 0.001^{1)}$
	Absent	0	30	
Total	46	28	74	

¹⁾ Using Chi-square for independence test.

ソウ (*Scutellaria pekinensis* Maxim. var. *ussuriensis* (Rege) Hand.-Mazz), エゾノイワハタザオ (*Arabis serrata* var. *glauca* Ohwi), エゾクロクモソウ (*Saxifraga fusca* Maxim. var. *fusca*), トモエソウ (*Hypericum ascyron* L.), オトギリソウ (*Hypericum erectum* Thunb.), オニシモツケ (*Filipendula kamtschatica* (Pall.) Maxim.), エゾノシロバナシモツケ (*Spiraea miyabei* Koidz.) およびカラフトアカバナ (*Epilobium glandulosum* Lehm. var. *asiaticum* Hara) の計8種が該当した (表-3)。

3.3.2 面積ならびに厚さを異にした崩落表土の播き出し

上記3.2で類型化された各群から無作為に1調査地点を抽出, それぞれの崩落表土を採取, 混合し, 面積ならびに厚さを異にして播き出した。

崩落表土の播き出し面積と出現種数の関係を図-5に示した。播き出し面積の拡大にともない出現種数は増加の傾向にあるが, 本傾向は播き出し面積720 cm²を境に緩慢に転じた。崩落表土の播き出し厚さと出現種数の関係を図-6に示した。

図-4 クラスタ分析 (群平均法) による調査地の類型化変量には崩落表土の成分組成を用いた。¹⁾ 図-1 参照。

Fig. 4 Classification among study plots based on their characteristics of avalanche soil using cluster analysis, group average method with squared Euclidean distance. ¹⁾ See Fig. 1.

表-2 クラスタ分析により類型化された各群における崩落表土の成分組成

Table 2 Characteristics of avalanche soil in each group classified by cluster analysis

Items (%)	Group I ¹⁾		Group II ¹⁾		Group III ¹⁾	
	n=13		n=8		n=3	
Leaf	5.3 ± 5.1	^a	8.3 ± 9.2	^{ab}	17.5 ± 3.4	^b
Branch	16.7 ± 8.3	^a	47.3 ± 10.8	^b	66.9 ± 5.6	^c
Gravel	62.9 ± 9.5	^c	33.5 ± 6.7	^b	5.4 ± 5.6	^a
Sand	13.9 ± 8.4	^a	10.1 ± 5.4	^a	9.0 ± 6.6	^a
Silt and clay	1.0 ± 0.7	^a	0.7 ± 0.6	^a	0.9 ± 0.8	^a
Total organic matter ³⁾	26.6 ± 11.3	^a	61.1 ± 8.6	^b	90.8 ± 4.1	^c
Total mineral matter ⁴⁾	73.3 ± 11.3	^c	38.8 ± 8.6	^b	9.1 ± 4.1	^a

¹⁾ See Fig.4. ²⁾ Mean ± S.D. ³⁾ Leaf, branch and organic matter in soil. ⁴⁾ Mineral matter in soil. Within any row, values followed by different letter are significantly different at 5% level using Bonferroni's Multiple t-test.

播き出し厚さの増大にともない出現種数は増加の傾向にあるが, 播き出し厚さ3 cmを境に本傾向はみられなくなった。

3.3.3 低温保存後の崩落表土の播き出し

上記3.2で類型化された各群から無作為に1調査地点を抽出, それぞれの崩落表土を採取, 混合し, これを低温保存前後で播き出した (図-7)。

崩落表土の低温保存前後における出現種数および総出現個体数はそれぞれ, 保存前では12種, 58個体, 保存後では18種, 53個体であり, 低温保存前後の出現種数および総出現個体数に有意な差異は認められなかった ($p > 0.05$)。

表-3 クラスター分析により類型化された各群における出現種ならびに出現個体数¹⁾Table 3 Occurring species and their number in each group classified by cluster analysis¹⁾

Occurring species	Group I ²⁾							Group II ²⁾					Group III ²⁾			Control	Japanese term
	53 ³⁾	36	23	42	51	48	27	17	29	40	19	30	35	60	55		
Woody																	
<i>Cercidiphyllum japonicum</i> Sieb. et Zucc.	38	78	36	156	98	1	64	1	195	408	11	72	10	35	26		カワラ
<i>Fraxinus mandshurica</i> Rupr. var. <i>japonica</i> Maxim.	51	29	180	20	79	45	236	52	192	23	86	120	153	99	4		ヤナギモ
<i>Betula ermanii</i> Cham.	16	2	7	23	25	20	5		36	11	9	13	6	11	2		タ'クシノハ'
<i>Alnus hirsuta</i> Turcz.	6	2		46	2	4		1	7	32	1	5	2	1	7		クヤマハシノキ
<i>Celastrus orbiculatus</i> Thunb.	2	1	90		4	8			1		1	1	4	5	3		ツルギハシト'キ
<i>Actinidia arguta</i> (Sieb. et Zucc.) Planch. ex Miq.	5		1			1	1					1					ササナシ
<i>Actinidia polygama</i> (Sieb. et Zucc.) Planch. ex Maxim.				1						1	2	4			1		マタタビ'
<i>Sorbus commixta</i> Hedl.	2		1			1	3								4		ナナハナト'
<i>Pachysandra terminalis</i> Sieb. et Zucc.						2		1	1						2		フツキツク
<i>Rubus matsumuranus</i> Lévl. et Van't.	1		1								1	1					エダ'イナコ'
<i>Alnus maximowiczii</i> Call.			4									2					ミヤマハシノキ
<i>Picea jezoensis</i> (Sieb. et Zucc.)Carrière					1					1							エダ'マツ
<i>Abies sachalinensis</i> (Fr. Schm.) Msters															1		トド'マツ
<i>Acer ginnala</i> Maxim.							1										カワコギ'カエデ'
<i>Acer mono</i> Maxim. var. <i>glabrum</i> (Lévl. et Van't.) Hara								2									エダ'イナギ
<i>Hydrangea paniculata</i> Sieb. et Zucc.											2						ノリウツギ'
<i>Spiraea miyabei</i> Koidz. **											1						エダ'ノソコハ'ナシメツケ' **
<i>Taxus cuspidata</i> Sieb. et Zucc.					1												イチイ
Rosaceae sp.														1			ハ'ラ科sp
Unknown 1										1		2			1		不明種1
Unknown 2					2												不明種2
Herbaceous																	
<i>Boehmeria platanifolia</i> Franch. et Savat. *	3	4	4	22	3	3	9	4	3	2	1		2				メギツ'オオ *
<i>Carpesium triste</i> Maxim.	5	1	1	20	37	27	7	1	38		1		7	19			ミヤマツバ'タハ'コ
<i>Artemisia montana</i> (Nakai) Pamp.			2	3	2	1	1		1	2	3	51	4	6			オオコサギ'
<i>Laportea bulbifera</i> (Sieb. et Zucc.) Wedd.	6	13			15	17	14	2	15	9	2				1	1	ムコロ'イナナギ
<i>Reynoutria sachalinensis</i> (Fr. Schm.) Nakai	1		1	5	1	1	3					1	2	1	2		オオイトド'リ
<i>Clinopodium micranthum</i> (Regel) Hara	1	4	2	7	31	3	2				12			3			イヌトウハ'ナ
<i>Eupatorium chinense</i> L.	3		2		51	3						6		7			ヒヨド'リハ'ナ
<i>Pilea mongolica</i> Wedd.		4	5	13	9		39			26							アオミズ'
<i>Scutellaria pkinensis</i> Maxim. var. <i>ussuriensis</i> (Regel) Hand.-Mazz. **	1				1	1	3			6	1						エダ'クサミツク **
<i>Arabis serrata</i> Franch. et Savat. var. <i>glauca</i> Ohwi **				3			2		1		4		1				エダ'ノイハナギ'オ **
<i>Aruncus dioicus</i> (Walt.) Fern. var. <i>tenuifolius</i> (Nakai) Hara		2		1	46			1		3							ヤマツ'キシヨウマ
<i>Stenactis annuus</i> (L.) Cass. †			3				1					21	2	2			ヒメジ'ヨオン †
<i>Thalictrum minus</i> L. var. <i>hypoleucum</i> (Sieb. et Zucc.) Miq.			1			2						2	1	7			アサギツマツ
<i>Cacalia auriculata</i> DC. var. <i>kamtschatica</i> (Maxim.) Matsum.										1	1				1		ミコサギ'
<i>Galium trifidum</i> L. var. <i>brevipedunculatum</i> Regel	1				1										1		カシハ'ノソコハ'ノ'ラ
<i>Phryma leptostachya</i> L. ver. <i>asiatica</i> Hara				2		1		1									ハズド'クツク
<i>Calamagrostis hakonensis</i> Franch. et Savat.				1								10					ヒメハシ'ササ
<i>Epilobium glandulosum</i> Lehm. var. <i>asiaticum</i> Hara **					7							2					カウアラ'カハ'ナ **
<i>Filipendula kamtschatica</i> (Pall.) Maxim. **					29							1					オニシメツク **
<i>Hypericum erectum</i> Thunb. **												3		9			オトギ'リウツ **
<i>Lactuca raddeana</i> Maxim. var. <i>elata</i> (Hemsl.) Kitam.					1		1										ヤマハ'ナ
<i>Melica nutans</i> L.						1						1					コメダ'ヤ
<i>Polygonum aviculare</i> L.				1						1							ミチヤナギ'
<i>Sanicula chinensis</i> Bunge							1				1						クマノミツク'
<i>Saxifraga fusca</i> Maxim. var. <i>fusca</i> **					1			1									エダ'クサミツク **
<i>Adenocaulon himalaicum</i> Edgew.									1								ノゾ'キ
<i>Agrimonia pilosa</i> Ledeb. var. <i>japonica</i> (Miq.) nakai														1			キンミズ'ヒキ
<i>Antenoron filiforme</i> (Thunb.) Roberty et Vautier							1										ミズ'ヒキ
<i>Aster glehni</i> Fr. Schm. var <i>glehni</i>					1												エダ'ゴ'マナ
<i>Circaea alpina</i> L.											1						ミヤマハ'ナギ'
<i>Cirsium kamtschaticum</i> Ledeb.												1					チシマツ'ミ
<i>Digitaria violascens</i> Link					1												アサミツク'
<i>Elsholtzia ciliata</i> (Thunb.) Hylander		1															ナギ'ナナツク'ユ
<i>Erigeron canadensis</i> L. †				2													ヒメムコ'コサギ' †
<i>Hylotelephium verticillatum</i> (L.) H. Ohba												1					ミツハ'ベンケイナギ
<i>Hypericum ascyron</i> L. **												1					トモエナギ **
<i>Leontopodium fauriei</i> (Beauv.) Hand.-Mazz.												2					ミヤマハ'ナギ'
<i>Oenothera biennis</i> L. †	1																メヤマヨイ'ナ †
<i>Persicaria nepalensis</i> (Meisn.) H. Gross	1																カシハ'
<i>Picris hieracioides</i> L. subsp. <i>japonica</i> (Thunb.) Krylov												1					クナヅ'リサ
<i>Plantago asiatica</i> L.				7													オオハ'コ
<i>Senecio cannabifolius</i> Less.					7												ハコ'ンツク
<i>Solidago gigantea</i> Alt. var. <i>leiophylla</i> Fernald †														1			オオツバ'ナギ †
<i>Urtica platyphylla</i> Wedd.												5					エダ'イナナギ
<i>Chrysosplenium kamtschaticum</i> Fisch. ex Seringe					2												チシマハ'ノミツク
<i>Corydalis ochotensis</i> Turcz. var <i>raddeana</i> (Regel) Nakai							1										ナギ'シツクハ'マン
Compositae sp.1							1										ササ'科sp.1
Compositae sp.2															2		ササ'科sp.2
Cyperaceae sp.1		1			7		1	7		13			3	2			カヤツリ'サ科sp.1
Cyperaceae sp.2				1	4				2		1						カヤツリ'サ科sp.2
Cyperaceae sp.3					4						1						カヤツリ'サ科sp.3
Labiatae sp.1	2						1	9		1			3	12			シツクsp.1
Labiatae sp.2							3					14					シツクsp.2
Labiatae sp.3			1														シツクsp.3
Labiatae sp.4							3										シツクsp.4
Poaceae sp.1					1		2	1		1				4			イネ科sp.1
Poaceae sp.2												2					イネ科sp.2
Poaceae sp.3												1					イネ科sp.3
Unknown 3	1	4					1			4							不明種3
Unknown 4							1										不明種4
Number of occurring species (No.)	20	15	19	22	29	19	27	5	15	18	21	35	15	26	9	0	
Total number of occurring individuals (No.)	147	148	344	350	470	135	402	57	472	565	160	356	201	238	47	0	
Ratio of invasive species (%) ⁴⁾	5.6	0.0	5.9	4.8	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	7.7	9.5	0.0	-	
Ratio of invasive individuals (%) ⁴⁾	0.7	0.0	0.9	0.6	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	1.0	1.4	0.0	-	
Number of occurring species in each group (No.)				21.6 ± 4.9 ^{5) a}						18.8 ± 10.9 ^a				16.7 ± 8.6 ^a			
Total number of occurring individuals in each group (No.)				285.1 ± 139.0 ^a						322.0 ± 211.6 ^a				162.0 ± 101.3 ^a			

¹⁾ Avalanche soil was scattered in 2160 cm². ²⁾ See Fig.4. ³⁾ Study plots number. *: Species listed on Hokkaido RDB. **: Species listed as a precious plant in this region. †: Invasive species. ⁴⁾ Except for not identified species. ⁵⁾ Mean ± S.D. Within any row, values followed by the same letter are not significantly different at 5% level using Bonferroni's Multiple *t*-test.

図-5 崩落表土¹⁾の播き出し面積と出現種数の関係

¹⁾ 調査地 No. 15, 24 および 60 の崩落表土を混合。播き出し厚さ：5 cm。縦棒は標準偏差を示す。

Fig. 5 Relation between area of avalanche soil scattered with 5 cm thick and number of occurring species. Mixture of avalanche soil in study plots No. 15, 24 and 60 was used. Vertical bars show standard deviation of the mean.

図-6 崩落表土¹⁾の播き出し厚さと出現種数の関係

¹⁾ 調査地 No. 15, 24 および 60 の崩落表土を混合。播き出し面積：720 cm²。縦棒は標準偏差を示す。

Fig. 6 Relation between thickness of avalanche soil scattered in 720 cm² and number of occurring species. Mixture of avalanche soil in study plots No. 15, 24 and 60 was used. Vertical bars show standard deviation of the mean.

4. 考 察

4.1 崩落表土の成立環境ならびに成分組成

崩落表土は傾斜が急な立地、木本数が少ない立地、構造物がみられる立地の多くで成立することが示された(図-3, 表-1)。すなわち、傾斜が急で木本が定着し難い立地に崩落表土は成立し易いと考えられ、これは急斜面かつ植生が成立し難い立地で雪崩や土砂崩落が生じ易いとするこれまでの雪氷学・地盤工学的研究^{1,10,16,17,19,25)}と一致するところである。また、構造物のみられる立地の多くで崩落表土が成立したことから、構造物の有無は、崩落表土の成立する立地をみつける上で一つの指標になると考えられた。これは元来、構造物

の設置目的が雪崩や土砂崩落の予防措置であり、このように構造物が設置される立地では必然的に崩落表土も成立し易いためと考える。

他方、崩落表土はその成分組成から群 I、群 II および群 III の 3 群に分けられた(図-4)。これら各群は、崩落表土に含まれる葉、枝等の有機物および土壌中の有機物、無機物の割合から(表-2)、無機物を主体とする群 I、有機物を主体とする群 III、ならびに無機物、有機物の量が前記両群の中間に位置する群 II に特徴づけられると考える。しかし、各群間の出現種数ならびに総出現個体数に有意な差異は認められず(表-3)、いずれの群からも多数の実生が確認された。これは崩落表土がダムや砂防堤等に堆積する土壌と同様に広範囲から集積したものであり、崩落表土の成分組成の違いに関わらず多様な種子が集積されるためと考えた。

4.2 既往の播き出しからみる崩落表土の位置づけ

崩落表土からの実生の出現種数ならびに総出現個体数は、播き出し面積 2,160 cm²、播き出し厚さ 5 cm でそれぞれ 5~35 種、47~565 個体であった(表-3)。後者を 1 m²(播き出し厚さ 5 cm)あたりに換算した値は平均で 1,263 個体となる。既往の森林表土播き出しでの実生の総出現個体数は、今橋・鷺谷(1996)の 5,896 個体/15 L⁷⁾、細木ら(2001)の 726 個体/40 L⁶⁾、細木ら(2004)の 13.2~35.4 個体/L⁵⁾等が報告されている。これらの値を先と同様に 1 m²(播き出し厚さ 5 cm)あたりに換算するとそれぞれ 19,653 個体、908 個体および 660~1,770 個体となる。崩落表土からの実生の総出現個体数をこれら既往の報告と比較すると、崩落表土での値は既往の報告の範囲内にあると考える。また、実生の出現種数は、一般に総出現個体数のように換算できないため、他の結果と安易に比較はできないが、崩落表土からの実生の出現種数は緑化資材として決して少なくない数と筆者らは考える。

森林表土や低湿地表土^{9,18,21)}での播き出し面積と出現種数との関係においては、播き出し面積の拡大にともなう出現種数の増加がある面積を境に飽和もしくはそれに近づく形をとる。また崩落表土においては、播き出し面積の拡大にともなう出現種数の増加が播き出し面積 720 cm²を境に緩慢に転じ(図-5)、これは既往の報告と同様の形をとるといえる。

崩落表土の播き出し厚さと出現種数の関係は、播き出し厚さの増大にともない出現種数も増加の傾向にあるが、播き出し厚さ 3 cm を境に本傾向はみられなくなった(図-6)。これは、森林表土の播き出しに 4 cm が最適とされ、5 cm 以上で種数が増加しないとする報告^{28,29,32)}に概ね一致する。

以上、崩落表土の播き出しはこれまでの表土播き出しと比較して、実生の出現においてその特性(総出現個体数、播き出し面積および播き出し厚さと出現種数との関係)がよく類似すると考える。したがって、崩落表土は、既往の表土播き出しと同様に今後の緑化資材として期待できると考えた。また、森林表土とは異なり、崩落表土の採取は春先から初夏までの短期間に制約されるが、崩落表土の低温保存前後における出現種数および総出現個体数に有意な差異は認められないことから(図-7)、崩落表土の低温保存は可能といえ、これ

図-7 崩落表土¹⁾の低温保存前後における出現種数 (1) および総出現個体数 (2)

¹⁾ 調査地 No. 15, 24 および 60 の崩落表土を混合。播き出し面積: 720 cm²。縦棒は標準偏差を示す ($n=3$)。N.S.: 5%水準で有意差なし (スチューデントの t -検定)。□: 保存前 (コントロール), ■: 保存後。

Fig. 7 Number of occurring species (1) and their total number of individuals (2), before and after low temperature storage of avalanche soil for ten months. Mixture of avalanche soil in study plots No. 15, 24 and 60 was used. Avalanche soil was scattered in 720 cm². Vertical bars show standard deviation of the mean ($n=3$). N. S.: No significant differences at 5% level using student's t -test. □: Before (control), ■: After.

により先の制約も解消できると考えた。さらに梅原・永野 (1997) は、森林表土の野外での積みあげ保存が可能であるとしていることから²⁸⁾、崩落表土においても低温保存に加えて、より簡便な野外での積みあげ保存の可能性も示唆されよう。

4.3 生物多様性保全からみる崩落表土の播き出し利用

播き出しに対する目的は多様化の一途にあり、生物多様性保全、未利用・低利用資源の利活用 (例えば浚渫土壌)、ゼロ・エミッション (例えば建設廃土) など多岐にわたる^{6,23,24,30)}。なかでも、生物多様性保全への配慮が強く唱われる現在²²⁾、各目的においても播き出し後に出現する貴重種および自生種の定性的、あるいは定量的評価は不可欠といえる。

本論が提唱する崩落表土の播き出しにおいて環境省のレッドデータブックでの指定種は確認されなかったが、北海道レッドデータブックの指定種からは1種、当該地指定種からは8種の実生が確認された (表-3)。また、崩落表土から出現した実生のうち移入種の占める割合は種数で 0.0~9.5%、個体数では 0.0~6.3% であり (表-3)、これらの値は既往の播き出し^{4-6,14,32)}を大幅に下回るものであった。したがって、少なくとも本調査地における崩落表土の利用は、生物多様性保全に大きく寄与し、新たな緑化資材として利活用できるものと考えた。

4.4 今後の課題と展望

崩落表土は調査対象地の 59.5% で確認されたが (図-3, 表-1)、同値に対しては評価し難い。また、これまでに報告される播き出し^{5,9,11,18,21)}と同様に、崩落表土においても採取地、採取時期、施工地、施工法等によって播き出し後の成立植生は大きく異なると予想され、これらの点においては更なる検

討が要される。播き出しに資するこれまでの研究では播き出し後の成立植生と周辺植生との対応が重視されるが^{4-6,21)}、ダムや砂防堤等に堆積する土壌と同様に崩落表土も広範囲から集積するものと考えられ、崩落表土の播き出し後の成立植生と周辺植生との対応については表土の供給源を広域的に捉えた調査が今後求められる。

最後に、本研究の遂行にあたりご鞭撻を賜りました株式会社ブコーシャ総合科学研究所明石憲宗氏に深く感謝の意を表するとともに、厚く御礼申し上げます。また、調査の実施にご尽力頂きました帯広畜産大学丸山純孝名誉教授、同大学佐藤雅俊教官ならびに、ヒートパイプ型低温貯蔵庫に関する資料を提供して頂きました同大学土谷富士夫教授には、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) Fahey, B. D. (1974) Seasonal frost heave and frost penetration measurements in the Indian Peaks region of the Colorado Front Range. *Arct. Alp. Res.*, 6: 63-70.
- 2) 浜田 拓・倉本 宣 (1994) 実生出現法によるコナラ林の埋土種子集団の研究およびその植生管理への応用, ランドスケープ研究, 58(1): 76-82.
- 3) 北海道生活環境部自然保護課 (1979) 日高山系現存植生図, 北海道.
- 4) 細木大輔・米村惣太郎・亀山 章 (2000) 埋土種子を用いて緑化した法面植生の推移, 日本緑化工学会誌, 25: 339-344.
- 5) 細木大輔・米村惣太郎・亀山 章 (2004) 関東の土壌シードバンクにおける緑化材料としての利用可能性とその測定方法, 日本緑化工学会誌, 29: 412-422.
- 6) 細木大輔・吉永知恵美・中村勝衛・亀山 章 (2001) 森林表土を用いた法面緑化で成立する植物群落の特性, 日本緑化工学会誌, 27: 114-119.
- 7) 今橋美千代・鷺谷いづみ (1996) 土壌シードバンクを用いた河畔冠水草原復元の可能性の検討, 保全生態学研究, 1: 131-147.
- 8) 地盤工学会土の試験実習書編集委員会 (2000) 土質試験—基本と手引き—, 社団法人地盤工学会, 251 pp.
- 9) 陣門泰輔・佐藤治雄・森本幸裕 (2000) 森林表土播きだしによる荒廃地緑化に関する研究, 日本緑化工学会誌, 25: 397-402.
- 10) 梶本卓也・大丸裕武・杉田久志 (2002) 雪山の生態学, 東京大学出版会, 289 pp.
- 11) 柏原一凡・佐藤治雄・森本幸裕 (2000) 畦畔表土利用による植生回復の初期状況—福井県中池見の法面緑化を事例として—, 日本緑化工学会誌, 25: 379-384.
- 12) 柏木 亨・吉田博宣・勝野武彦 (2003) 落葉落枝層を活用した樹木種子の出芽と実生の成長過程, 日本緑化工学会誌, 29: 223-226.
- 13) 気象庁気象業務センター (2004) 電子閲覧室: 気象庁ホームページ <http://www.data.kishou.go.jp/>, 2004.7.7 更新, 2004.7.12 参照.
- 14) 越水麻子・荒木佐智子・鷺谷いづみ・日置佳之・田中 隆・長田光世 (1997) 土壌シードバンクを用いた谷戸植生復元に関する研究, 保全生態学研究, 2: 189-200.
- 15) Madsen, C. (1986) Wetland restoration: a pilot project. *J.*

- Soil Water Conserv., 41(3): 159–160.
- 16) 松井 健・武内和彦・田村俊和 (1990) 丘陵地の自然環境—その特性と保全—, 古今書院, 202 pp.
 - 17) Matsuoka, N. (1994) Continuous recording of frost heave and creep on a Japanese alpine slope. *Arct. Alp. Res.*, 26: 245–254.
 - 18) 水澤 智・中本 学・森本幸裕 (2000) 土壌シードバンクによる低湿地植生復元に関する研究, 日本緑化工学会誌, 25: 321–326.
 - 19) Mooney, H. A. and Billings, W. D. (1960) The annual carbohydrate cycle of alpine plants as related to growth. *Am. J. Bot.*, 47: 594–598.
 - 20) 宗岡寿美・土谷富士夫・武田一夫・辻 修・伊藤隆広 (2001) 法面方位の違いと冬期の気象・地盤環境—寒冷少雪地域における法面保全問題(I)—, 第 50 回農業土木学会北海道支部研究発表会講演集, 156–159.
 - 21) 中村彰宏・衣笠斗基子・陣門泰輔・谷口伸二・佐藤治雄・森本幸裕 (2002) 埋土種子密度, 種数, 多様性指数-面積曲線による森林表土巻き出し緑化の評価, 日本緑化工学会誌, 28: 73–78.
 - 22) 日本緑化工学会 (2002) 生物多様性保全のための緑化植物の取り扱い方に関する提言, 日本緑化工学会誌, 27: 481–491.
 - 23) 大村理恵子・村中孝司・路川宗夫・鷺谷いづみ (1997) 霞ヶ浦の浚渫土まきだし地に成立する植生, 保全生態学研究, 4(1): 1–14.
 - 24) 嶋 一徹 (2002) 特集「緑化工におけるリサイクル」にあたって, 日本緑化工学会誌, 27: 555–556.
 - 25) Shimada, T., Genma, T., Furuya, S. and Kondo, Y. (1982) Frost heaving injury of alfalfa. *J. Jpn. Grassl. Sci.*, 28: 147–153.
 - 26) 嶋田 鏡・川鍋祐夫・佳山良正・伊藤秀三 (1973) 草地の生態学, 築地書館, 287 pp.
 - 27) 土谷富士夫 (2004) ヒートパイプによる人工永久凍土低温貯蔵庫, 雪氷, 66(2): 251–257.
 - 28) 梅原 徹・永野正弘 (1997) 「土を撒いて森を作る!」研究と事業をふりかえって, 保全生態学研究, 2: 9–26.
 - 29) 梅原 徹・永野正弘・麻生順子 (1983) 森林表土のまきだしによる先駆植生の回復法, 緑化工技術, 9(3): 1–8.
 - 30) 鷺谷いづみ・矢原徹一 (1996) 保全生態学入門, 文一総合出版, 256 pp.
 - 31) Welling, C. H., Pederson, R. L. and Van der Valk, A. G. (1988) Recruitment from the seed bank and the development of zonation of emergent vegetation during a draw-down in a Prairie Wetland. *J. Ecol.*, 76: 483–496.
 - 32) 吉永知恵美・亀山 章 (1999) 埋土種子緑化に関する基礎的研究—埋土種子の発芽と覆土厚の関係—, 第 19 回道路緑化技術発表会要旨論文集, 18–19.

(2005.2.16 受理)