

播種工が施工された治山林道法面における 施工後初期の緑化成績に影響を与える要因

大津千晶

Factors affecting performance of revegetation in early stage at slopes sprayed with seeds for erosion control

Chiaki OTSU

Summary : I evaluated the factors affecting the performance of revegetation in the early stages at revegetated slopes. While amounts of introduced seeds of *Festuca rubra* and *Festuca arundinacea* positively affected the performance of revegetation, amounts of introduced seeds of *Miscanthus sinensis*, *Trifolium repens*, and *Indigofera pseudotinctoria* negatively affected it. The performance of revegetation declined at steeper slopes. The direction of slopes also influenced on the performance, which fell behind in its grades in order of east, north, south and west. Performance of revegetation tended to get the acceptability criterion at the slopes where the gramineous plant species were sprayed on the assumption that more than 1000 individuals m⁻² of them germinate in early stages.

要旨: 施工後初期の法面の緑化成績に影響を与える要因を調べた。クリーピングレッドフェスク、トールフェスクは発生期待本数が多いほど成績は上がる傾向にあった一方、ススキ、ホワイトクローバー、コマツナギは発生期待本数が多いほど成績は下がる傾向にあった。傾斜角度が急になるほど成績は低下し、斜面方位については東、北、南、西の順に成績が低下した。イネ科の草本種が 1000 本/m² 程度以上播種された箇所では、緑化成績が「可」以上となる傾向にあった。

1 はじめに

植物による地表面の被覆は、斜面地において表面浸食発生の効果をもつ（北原 2002）。そのため、法面の保護や景観修復を目的とした治山林道法面では、早期の緑化を図るために多量の外来緑化植物が導入されてきた。さらに、表面浸食の発生や緑化の成績は地質、地形、気候などの様々な環境要因からも影響を受けるため（矢橋ほか 1983；星子・吉田 2000；佐藤・西本 2008；久保・林 2012）、緑化工ではこれらの環境条件に応じた適切な工法の選択や緑化種の配合、導入量の調節も同時に求められる。

一方、近年は外来種の自然生態系への侵入、定着が指摘されるようになった（村中・鷺谷 2001；吉田ほか 2005；高木・日置 2008）。また、外来の緑化植

物に関しては、過剰な繁茂によって周辺植生からの植物種の定着が阻害され、遷移が進行しにくくなる事例が報告されるようになった（児玉ほか 2002）。

2005 年度には外来生物法が公布され、一部の外来種の取扱いに規制が課され

（<http://www.env.go.jp/nature/intro/>、2015 年 6 月 15 日確認）、これらの動向に対応して治山林道事業においても生物多様性への配慮が求められるようになっている（斜面緑化研究部会 2004）。環境省が公表した外来種被害防止行動計画

（<http://www.env.go.jp/nature/intro/loutline/actionplan.html>、2015 年 6 月 15 日確認）では、外来緑化種を使用する場合には、使用する場所の土地利用と周囲の環境の 2 つの観点から利用する種や工法の選択が求められている。

法面緑化において生物多様性に配慮する上では、

外部から緑化植物を持ち込まない自然侵入促進工や森林表土利用工、郷土種（地域性在来種）を用いた播種工などの工法の採用が望ましいとされている（斜面緑化研究部会 2004）。しかし、これらの工法は施工単価が比較的高く、緑化速度も遅いため（中野 2008）、広域で施工するのは現時点では難しい。さらに、安価な外国産在来種を導入する工法も、導入した在来種と地域性の在来種との交雑によって遺伝的攪乱を引き起こす問題が指摘されている（津村・岩田 2003）。そのため、生物多様性の保全上特に重要な地域で外部から植物を持ち込まない工法を採用すること、それ以外の一般的な地域では環境条件に応じて最低限の量の外来緑化種を導入し、周辺植生からの在来植物の定着を促すことが現時点で選択しうる方向と考えられる（環境省自然保護局ほか 2006）。そのため、一般的な地域では、法面の環境・施工条件に応じて表面浸食を防止しつつ、かつ過剰な緑化種の繁茂が起きない程度の、適切な量の緑化種を導入する必要がある。

山梨県内の施工地においても、緑化種の繁茂により周辺植生からの在来植物の侵入が阻害される事例が報告されるようになった（久保・林 2012）。さらに、上記のように外来生物法が施行された経緯も加わり、2009 年度に治山林道事業の種子配合指針が制定され、基準となる緑化植物の導入量が以前よりも減量されることとなった。そのため、制定された指針に基づき施工された法面が、本来の目的である浸食の防止機能を十分に果たしているのかどうか、また、どのような条件の場合にどの緑化種をどの程度播種すると浸食の防止が可能になるのか体系的に評価する必要がある。

そこで本研究では、指針の制定後に緑化施工された箇所において、導入された緑化種の発生活待本数を含む、施工後初期の緑化の成績に影響を与える要因を明らかにすることを目的とした。

2 調査方法

2.1 調査地

2014 年度に治山林道課により植生工生育状況調査が実施された施工箇所のうち、植生工が播種工（植生基材吹付工、客土吹付工、種子吹付工のいずれか）であり、かつ全ての変数データについて欠損がみら

れない治山林道法面 147 箇所（治山：82、林道：65）を調査対象とした。調査箇所は 131～1950m と広範な標高域に位置する。

2.2 調査方法

2014 年度に治山林道課職員により実施された植生工生育状況調査のデータを解析に用いた。この調査は、一定期間（4～12 ヶ月）を経過した時点で植物の生育状況を確認するために実施される。現地調査では、職員が施工された法面全体について緑化成績を目視によって評価している。成績は、表 1 の判定基準にしたがい、目標とする群落別に良、可、判定保留、不可の 4 段階により判断している。本研究ではこれらの調査結果を用いて、緑化成績に影響を与える施工・環境条件を一般化線形混合モデルにより推定した。

表 1 植生工生育状況調査における緑化成績の判定基準

目標群落	成績	判定基準
木本群落型	良	植被率が80%を超えており、木本類が確認できる。基盤材等の流亡はない。
	可	植被率が70%を超えており、木本類が確認できる。基盤材等の流亡はない。
	判定保留	・植被率は70%を超えているが、木本類が確認できない。基盤材等の流亡はない。この場合、翌年生育判定を行う。再度判定保留の場合は補修を行う。 ・植被率は70%未満であるが、基盤材等の流亡がない。この場合、翌年生育判定を行う。再度判定保留の場合は補修を行う。
	不可	植被率は70%未満であり、生育基盤が流亡して植物の成立の見込みがない。この場合は補修する。
草地型	可	植被率が70%以上である。
	判定保留	植被率が70%未満であるが、基盤材等の流亡はない。この場合、翌年生育判定を行う。再度判定保留の場合は補修を行う。
	不可	生育基盤が流亡するなど、植物の生育の見込みがない。この場合は補修する。

解析に使用した施工条件は、「植生工の種類」、「合計発生活待本数」または「各植物種の発生活待本数」を用いた。ただし、使用の頻度が低かったオーチャードグラス、ペレニアルライグラス、バミューダグラス、ハードフェスクの発生活待本数については影響を評価することが難しかったため、解析では除外した。環境条件は、土質（砂質土、粘性土、礫質土）、傾斜角度、斜面方位（4方位）、標高、土壌硬度、pH を収集した。ただし、土壌硬度、pH のデータは欠損が多かったため、解析では除外した。

応答変数は 4 段階の緑化成績の順位づけしたカテゴリ変数とした。すべてのモデルについて赤池情

報量基準 (AIC) を算出し、AIC が最も小さなモデルに含まれる説明変数を応答変数に影響を与える変数と判断した。

さらに、緑化成績が低下しやすい環境条件下では、どの程度の発生期待本数に設定すれば許容範囲の緑化成績に達するののかについても分析した。ベストモデルに含まれる説明変数のうち、緑化成績の低下に寄与する条件が重なる場合に、緑化成績が「判定保留」以上となる緑化種の発生期待本数を探索的に調べた。解析ソフトには R 2.15.1 (R Development Core Team 2012) を用いた。

3 結果

3.1 設定された目標群落型、導入種子の種類と種子配合

播種工には 16 種の種子が使用されていた(表 2)。合計の発生期待本数は、平均値は 1495 本/m²で、最少は 375 本/m²、最多は 7500 本/m²と幅が広がった。播種工の種子配合は全部で 76 通りと多様であった。在来種と外来種を混合した種子配合は 70 通りと多く、146 箇所施工されていた。外来種のみで構成される種子配合は 2 通りあり、4 箇所施工されていた。在来種のみで構成される種子配合は 4 通りあり、29 箇所施工されていた。目標群落型別では、中・高木性群落が 67 通り、低木性群落が 28 通り、草本性群落が 52 通りであった。

表 2 播種工により導入された緑化種

	外来種	在来種
高木種	なし	ヤマハンノキ、ヤシャブシ
低木種	なし	ヤマハギ、コマツナギ
草本種	クリーピングレッドフェスク、トールフェスク、オーチャードグラス、ケンタッキーブルーグラス、ペレニアルライグラス、パミュダグラス、ホワイトクローバー、ハードフェスク	ススキ、ヨモギ、イタドリ、メドハギ

3.2 成績

成績のうち「不可」と判定された施工箇所は 1 箇所と少なく、「判定保留」が 38 箇所、「可」が 64 箇所、「良」が 44 箇所だった。「不可」または「判定保留」の箇所は全体の 27%を占め、特に 4 つの管内のうち、峡南管内では施工地の 51%が「判定保留」に

なり、比較的成績が低くなる傾向にあった(表 3)。

表 3 管内別の緑化成績の内訳

緑化成績	中北		峡東		峡南		富士・東部		全体	
	箇所数	%	箇所数	%	箇所数	%	箇所数	%	箇所数	%
良	26	42.6	8	36.4	7	18.9	3	11.1	44	29.9
可	21	34.4	14	63.6	11	29.7	18	66.7	64	43.5
判定保留	13	21.3	0	0.0	19	51.4	6	22.2	38	25.9
不可	1	1.6	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	0.7

3.3 成績に影響を与える要因

一般化線形混合モデルによる推定の結果、成績にはススキ、クリーピングレッドフェスク、トールフェスク、ホワイトクローバー、コマツナギの発生期待本数、傾斜角度、斜面方位が影響していると判定された。それ以外の種の発生期待本数や植生工の種類、土質、標高は成績に影響していなかった。また、合計の発生期待本数も成績に顕著な影響を与えていなかった。導入する植物種については、クリーピングレッドフェスク、トールフェスクは発生期待本数が多いほど成績は上がる傾向にあった(図 1)。一方、ススキ、ホワイトクローバー、コマツナギは発生期待本数が多いほど成績は低下する傾向にあった(図 1)。環境条件については、傾斜角度が急になるほど成績は下がる傾向にあった(図 1)。斜面方位については、成績は東向き斜面が最も良好で、北、南、西の順に低下する傾向にあった(図 1)。

上記の結果から、緑化成績が低下しやすい条件下でクリーピングレッドフェスク、トールフェスクの合計発生期待本数をどの程度に設定した場合に成績が「判定保留」以上になる傾向にあるのか探索した。傾斜角度が急で、かつ西向き斜面の箇所では、合計の発生期待本数が 2000 本/m²(各 1000 本/m²)以上で少なくとも「判定保留」以上の成績を得る傾向にあることが推定された(図 2)。一方、同じ条件下で発生期待本数を 1500 本/m²(各 750 本/m²)とすると、緑化成績は「判定保留」未満に低下した(図 2)。

4 考察

合計の発生期待本数は成績に顕著な影響を与えていなかった一方、特定の種の発生期待本数が成績に影響を与えていた。そのため、導入する種によって施工後初期の緑化成績は大きく異なると考えられるため、成績に応じて種ごとに発生期待本数を調整する必要がある。

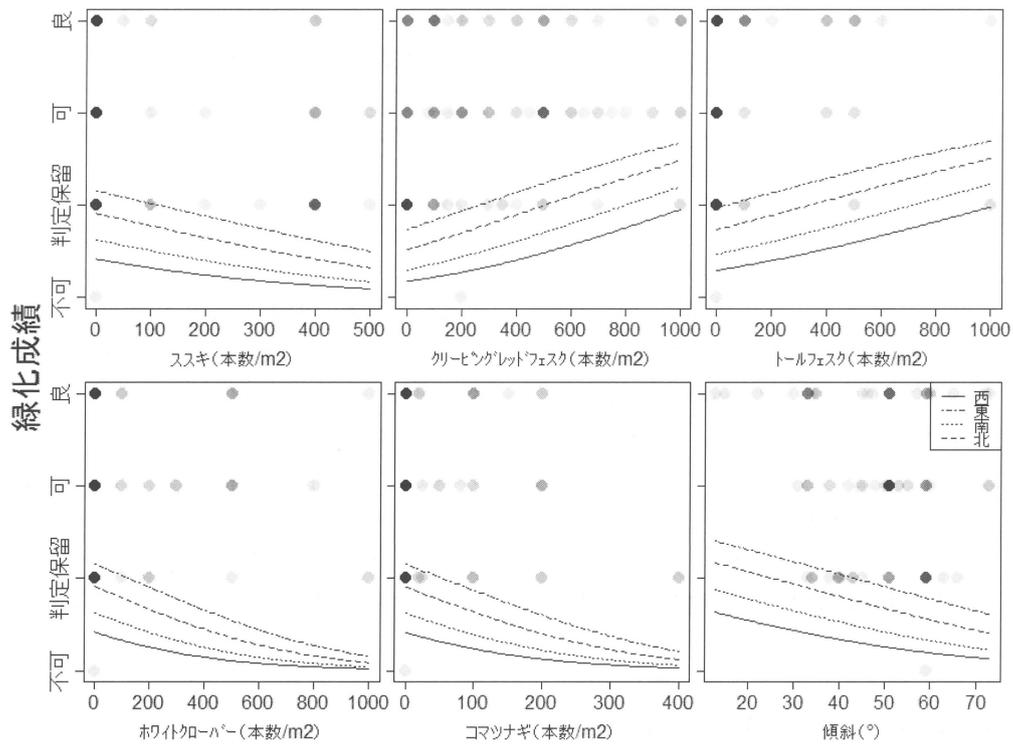


図1 一般化線形混合モデルから推定されたベストモデルに含まれる説明変数と緑化成績の関係

斜面方位は、各図中で4方位別に示した。図中の線はベストモデルによる応答変数の回帰曲線を表す。図中の点の濃淡は調査地点の重なりを表し、色が濃いほど多くの点が重なっていることを示す。横軸に示した変数以外の変数については変数の平均値×推定された計数の予測値を加え、カテゴリ変数については全調査区で最も頻出する区分の推定された係数を加えた。

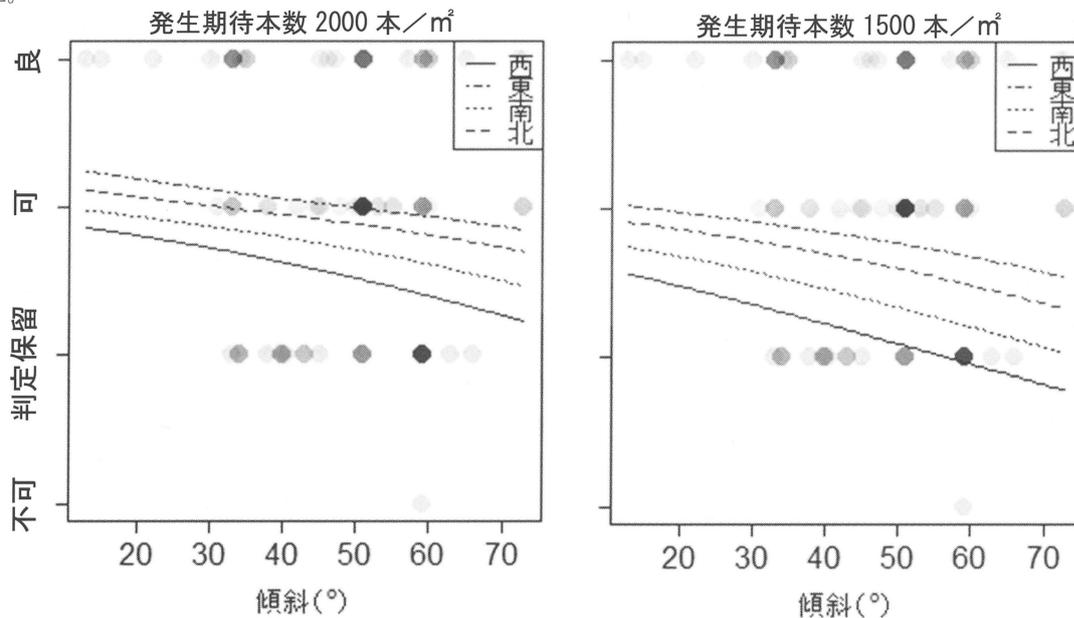


図2 異なる発生期待本数の元での予測緑化成績と傾斜及び方位の関係

一般化線形混合モデルの推定式から得られたクリーピングレッドフェスク、トールフェスクの発生期待本数を2000本/m²(各1000本/m²)、1500本/m²(各750本/m²)とした場合の傾斜角度、斜面方位と緑化成績の関係。斜面方位は、各図中で4方位別に示した。

ススキやホワイトクローバー、コマツナギの発生期待本数が多いほど成績が低下する傾向にあるのは、これらの種が調査時に植被率が低いことが影響していると考えられる。これらの種の発生期待本数が多いほど、一緒に混合するその他の種の配合割合が低くなり、全体に成績が低下しやすくなると考えられる。特に、ススキに関してはススキを含む種子配合では在来種の混合割合が高くなる傾向にあった。そのため、在来種の成績が調査当時には総じてあまり良くないことがススキの発生期待本数が多い箇所の成績の低下に影響した可能性も考えられる。

クリーピングレッドフェスク、トールフェスクの発生期待本数が多いほど成績が上がる傾向にあるのは、両種の発芽率が比較的高く(日本道路協会 2010)、初期成長も速いためと考えられる。そのため、これらの種は播種した量に応じて調査当時の植被率が高くなると考えられる。図 1 から、両種ともに標準的な施工条件下ではおよそ 1000 本/m² よりも多く設定された箇所で「可」程度以上の成績を得やすくなると推定された。そのため、施工後初期に表面浸食を防止効果が期待できるおおよその発生期待本数は、これらのイネ科の草本種を中心とした種子配合の場合にはおよそ 1000 本/m² 程度以上であると推測される。

ただし、斜面方位や傾斜角度などの条件によっても成績は異なってくるのがわかった。特に斜面方位は植被に大きく影響する要因となることが山梨県内外で報告されており(辰野・堀内 1969; 久保・林 2012; 大津ほか 2014)、今回の結果はこれらの結果ともほぼ一致していた。これらの地形条件のうち、緑化成績の低下に影響する条件が多く重なる場合には、特に工法の選択などに注意が必要になるだろう。傾斜角度などの物理的な要因に対応するためには、緑化基礎工の強化などが対応策として考えられる。斜面方位は主に土壌の乾燥化に影響すると考えられることから、植物種の乾燥ストレスが高まることによって成績の低下が起きた可能性がある。そのため、乾燥ストレスに強い緑化種の導入や、基盤材等の保水機能の向上などが改善策として考えられる。ただし、前述のような根本的な対策とは言えないものの、イネ科の種の発生期待本数が多い法面で緑化成績が向上するため、緑化成績が低下しやすい条件下では、これらの種を増量することも対策のひとつとして挙

げられる。特に緑化成績が低下しやすい、斜面方位が西向きかつ傾斜角度が急な地形条件下でも、イネ科の草本種を中心とした種子配合で発生期待本数 2000 本/m² 程度以上に設定することにより、「判定保留」程度以上の成績を得られる傾向があった(図 2)。ただし、今回の解析の応答変数である緑化成績は施工地に播種された全ての種の合計の植被率をもとに評価したものである一方で、使用頻度の低い種の発生期待本数は評価の対象としていない。そのため、推定された個々の種の発生期待本数の影響はある程度の不確実性を伴うことに注意する必要がある。今後、この結果を実際の指針に反映し、運用するためには、ある程度コントロールされた条件下で播種量減量試験を行い、本解析結果を補うことも必要だろう。

謝 辞

本解析を行うにあたり、森林環境部治山林道課の飯嶋浩史主査、川井裕司主任にはデータの集計、整備にご協力いただき、同課の皆様にはデータを提供いただきました。ここに記してお礼申し上げます。

引用文献

- 星子 隆, 吉田 裕介 (2000) 第二東名高速道路切土のり面への木本植物侵入予測に関する研究, 日本緑化工学会誌, 25: 367-372
- 環境省自然保護局ほか (2006) 平成 17 年度外来生物による被害の防止等に配慮した緑化植物取扱方針検討調査報告書, 283 pp
- 久保 満佐子, 林 敦子 (2012) 山梨県における林道の緑化施工(播種工)のり面の属性と植生の関係. 日本緑化工学会誌, 37: 478-481
- 北原 曜 (2002) 植生の表面侵食防止機能. 砂防学会誌, 54:92-101
- 児玉 俊一, 和田 みつき, 嶋 一徹, 千葉 喬三 (2002) 法面における導入種の違いが他樹種の侵入・定着に及ぼす影響. 日本緑化工学会誌, 28: 139-142
- 村中 孝司, 鷲谷 いづみ (2001) 鬼怒川砂礫質河原の植生と外来植物シナダレスズメガヤの侵入と河原固有植物の急激な減少. 保全生態学研究,

6:111-121

- 中野 裕司 (2008) 森林表土利用工・自然侵入促進工の問題・課題と提案(<特集>のり面自然回復緑化の現場をとりまく課題と今後の展望-四省庁による「緑化植物取扱方針」の推進にあたって-). 日本緑化工学会誌, 33:466-471
- 日本道路協会 (2010) 道路土工一切土工・斜面安定工指針, pp.234-235
- 大津 千晶, 小林 慶子, 長池 卓男 (2014) 緑化施工後初期の法面における表面浸食の発生と周辺植生からの在来種の侵入・定着に影響を与える要因の解明. 日本緑化工学会誌, 40:365-371
- R Development Core Team (2012) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- 佐藤 厚子, 西本 聡 (2008) 北海道におけるのり面緑化工法の分類と特徴—目的と地域に適したのり面緑化工法の選定に向けて—. 寒地土木研究所月報, 663:30-36
- 斜面緑化研究部会 (2004) のり面における自然回復緑化の基本的な考え方のとりまとめ. 日本緑化工学会誌, 29:509-520
- 高木 康平, 日置 佳之 (2008) 鳥取県千代川水系上流域において法面緑化に使用されたイタチハギ (*Amorpha fruticosa* L.) の逸出の実態と侵略性の評価. 日本緑化工学会誌, 33:571-579
- 辰野 良秋, 堀内 照夫 (1969) 山腹工作物の凍害防止に関する研究: 浸食土砂量に影響する因子の見当. 信州大学農学部演習林報告, 6:57-78
- 津村 義彦, 岩田 洋佳 (2003) 遺伝的変異性を考慮した緑化とは. 日本緑化工学会誌, 28:470-475
- 矢橋 晨吾, 金光 達太郎, 佐久間 護 (1983) マサ土法面の安定化に関する研究. 造園雑誌, 46:188-193
- 吉田 裕介, 築瀬 知史, 石坂 健彦 (2005) 高速道路沿道における外国産草本種の逸出可能性の検証. 日本緑化工学会誌, 31:135-138