

称号及び氏名	博士（緑地環境科学）	中村 剛
学位授与の日付	平成29年8月31日	
論文名	表土利用工および自然侵入促進工による裸地斜面の植生回復に関する研究	
論文審査委員	主査 藤原 宣夫	
	副査 上甫木 昭春	
	副査 加我 宏之	
	副査 中村 彰宏	

論文要旨

第1章 自然回復緑化工の技術体系と変遷

のり面緑化工は、裸地斜面に植物群落を成立させることにより、侵食防止を図る我が国独自の技術であり、侵食防止を前提としながら、景観保全や自然保護などの時代の要請に応じた技術発展を遂げてきた。1992年の地球サミットを機に、公共事業における生物多様性の保全が推進され、近年は生態系への配慮を要する地域におけるのり面緑化は、地域外から植物を持ち込まない緑化手法（自然回復緑化工）によることが原則となりつつある。本研究は自然回復緑化工の中でも、施工地周辺で採取した森林表土を緑化種子に代えて用いる「表土利用工」とのり面に侵食防止と飛来種子の定着促進処理を施すことにより、植生の自然な成立を期待する「自然侵入促進工」の二つの緑化手法をとりあげ、その技術変遷と技術的課題を本章において取りまとめた。

表土利用工と自然侵入促進工はともに、継続調査に基づく既往研究が数少なく、施工後の植生遷移については未解明である。また施工後は暫定的に定められた判定基準によって緑化の合否判定がなされている。さらに二つの手法で緑化が可能と予想される立地条件が明らかにされておらず、コストや施工条件を理由に工法選定が成されている。こうした現状を踏まえ、本章では、① 施工されたのり面に発達した植生の遷移初期状態の解明、② 評価方法の確立、③ 適用方法の明確化の三つの課題を解決が急がれる重要な課題として抽出した。

第2章 表土利用工による植生回復過程に関する研究

表土利用工は開発されて未だ歴史が浅く、これまで10年を越える植生遷移の知見は得られていない。本章では、京都府内の切土のり面において、表土利用工として、森林表土を配合した植生基材をのり面に吹き付けた後、継続的な植生調査を実施し、この調査結果を元に表土利用工で施工されたのり面に発達した植生の状態と、植生発達状態の評価方法についての考察を行った。

植物社会学的調査により、施工当年のメヒシバ、エノコログサ類などからなる疎らな1年生草本群落の成立、施工翌年のススキとヌルデの稚樹が優占する疎らな草本群落が成立、その後ススキ群落中のヤマウルシ、ネムノキなどの先駆性樹種の増加、施工12年後のヌルデとアカマツが優占する木本群落の成立を記録した。また枝張りや樹高の毎木調査の結果から、生育密度と木本の優占度 DT (亀山 1977) を算出し、樹林形成の過程を評価した結果、これらの値の増加から、施工2~3年後までに進行する木本類の空間的な過密化と、施工4年後の低木群落の成立を捉えた。

さらに、植生回復の評価として、植生の発達状態を出現種数、周辺植生との種組成の類似度 QS 、多様度指数 H' の生態学的指標を用いて評価した結果、出現種数と多様度指数は、施工4年後まで増加した後、その後大きな変化を示さず、施工後の短期的な植生回復を反映する結果となった。一方、類似度と遷移度は、調査期間を通じて増加したことから、より長期にわたる植生回復を反映する結果となった。このことから、出現種数と多様度指数の二つの指標は、短期的な植生の回復評価に用いる指標として、その後の中長期の評価には類似度や遷移度の使用が妥当であることが示唆された。

第3章 自然侵入促進工による植生回復に関する研究

自然侵入促進工はさらに既往研究が少なく、施工3年を越える植生遷移を捉えたものは、実験的施工によった細木ら(2008)の研究を除き例がない。そこで本章は、自然侵入促進工の植生遷移と植生回復効果を明らかにすることを目的として、愛媛県、香川県、鳥取県、京都府の各府県における、施工後3年以上が経過した自然侵入促進工の実現場を対象に、7個所の調査地を設け、最長7年間の植生調査を実施した。

各調査地における種組成の経時変化をもとに、相観に基づき植生遷移を整理した結果、施工当年から翌年に成立した草本群落は、施工2年~3年後の移行期を経て、木本群落に到達する一般的な遷移の初期段階を経ることが判明した。その一方で、岩盤の切土のり面や岩屑による盛土のり面といった植物が生育し難い土壌条件(林道安蔵線 2007年区、鶴尾神社 2010年区)や母樹林からの距離が大きい立地(鶴尾神社 2010年区)においては、木本群落の成立が遅れる傾向がみられた。

また第2章に準じ、種数、多様度指数 H' 、周辺植生との種組成の類似度 QS の三つの質的指標を用いて、各調査地の植生の発達状態を評価した結果、種数は2つの調査地を除き、調査期間を通じた増加傾向がみられたが、多様度指数はこの傾向が顕著ではなく、種の均衡性の低下が示唆された。さらに、周辺植生との類似性を種組成の類似度 QS を用いて評価した結果、類似度が増加した調査地とそうでない調査地がみられた。

第4章 表土利用工と自然侵入促進工による植生回復に関する研究

表土利用工と自然侵入促進工は、ともに自然環境への配慮が求められる地域に用いられるが、この二つの緑化手法を比較した研究は、一部の実験的な施工を除いて例がない。そこで本章は、表土利用工と自然侵入促進工が施工されたのり面における植生発達の状態の相違を明らかにし、適用できる環境条件の解明を目的として、表土利用工の施工地 26 箇所と自然侵入促進工の施工地 25 箇所において実施された植生調査の記録を整理し、植被率と群落高の量的指標を基に植生の発達状態を評価した。植被率については、記録された経時変化を基に植被率が 50%に達する施工後の月数 mc_{50} を提案し、この指標を比較したところ、自然侵入促進工の mc_{50} は表土利用工に比べ有意に短い結果となった。また、 mc_{50} と立地条件に関わる各環境要因を比較した結果、植生の発達状態に対し有意に影響する要因はみとめられなかった。一方で自然侵入促進工における植被の進行は、通常 of 立地条件では表土利用工と同程度であったが、土壤硬度が高いなどの土質条件が厳しい立地においては植被が遅れる傾向がみられた。さらに群落高を比較した結果、表土利用工は自然侵入促進工に比べ早期に木本群落が形成されることが明らかとなった。

第5章 総合考察

第2章と第3章の結果から、表土利用工と自然侵入促進工では、施工当年～1年後に草本群落が成立すると同時に、木本類の発芽が開始し、5～10年を要して木本群落が成立する、一般的な遷移傾向を明らかにした。しかしながら、クズ等の繁茂、厳しい土壤条件や母樹林との距離によっては、異なる遷移を示すことが明らかとなった。

一般的な遷移表土利用工と自然侵入促進工は、施工後3～5年後に植被率が50%を満たしているか否かによって、事業の可否判断がなされている。暫定的に定められた評価基準と実際の生育状況との間に乖離はみられず、また植被率が50%を越えた群落はその後も順調な植生遷移を継続していた。これらのことから、この評価基準の妥当性が示唆された。

また、中長期にわたる植生回復の評価方法として、植被率と群落高の量的指標に、質的指標である種数や周辺植生との共通種数を遷移段階によって使い分ける方法を提案した。この方法は自然回復緑化工の施工地において、植生遷移の早さを手軽に測る方法として活用されることが期待される。また mc_{50} を用いた事業間の植生発達速度の比較を提案した。

適用方法の明確化として、母樹林からの距離や土質条件が自然侵入促進工の植生回復に影響することが示唆されたことから、表土採取の可否、母樹林との距離、土質条件によって、表土利用工と自然侵入促進工を使い分ける「適用方法の目安」を提案した。

二つの緑化手法により成立する植物群落と環境要因との関係や、より長期的にわたる植生遷移について、本研究では明らかにできなかったことから、今後の研究と解明が望まれる。

審査結果の要旨

表土利用工と自然侵入促進工は、どちらも施工地域外から植物を持ち込まないため、人為的な遺伝子攪乱を伴わない斜面緑化工法として普及しつつある。しかし工法が開発されてからの期間が短いため、長期的なモニタリングに基づいた植生の回復過程が明らかにされておらず、回復過程の解明は、両工法の的確な選択適用や工事の成否判定方法の確立に関わる重要な課題となっている。本研究では、両工法について長期に渡るモニタリングを実施したほか、全国の多数の施工地の調査記録を基に、植生相観、植被率、群落高、種構成、種多様度、周辺植生との類似度など、各種の生態的指標の変化を把握し、その結果から、両工法について植生回復過程、植生回復への有効性と判定基準、適用区分について考察を行っている。本論文は5章から構成されるが、第1章では背景となる自然回復を目的とした斜面緑化工法の技術変遷と課題を整理し目的設定を行い、主となる成果は第2章から第5章において以下のように整理している。

第2章では、表土利用工の植生回復過程、植生回復への有効性と判定基準を明らかにするため、京都府内の切土のり面において、森林表土を配合した植生基材吹付工を施工した後、12年間にわたる継続的な植生調査を実施した。その結果、施工当年にはメヒシバ、エノコログサなどからなる1年生草本群落、施工翌年には、多年生草本のススキとヌルデの稚樹が優占するススキ群落が成立した。その後ススキ群落の中にヤマウルシ、ネムノキなどの先駆性樹木が増え、12年後には、ヌルデとアカマツが優占する木本群落が成立した。植生回復の有効性を出現種数、周辺植生との類似度、多様度指数を用いて評価した結果、出現種数と多様度指数は、施工4年後まで増加した後、大きな変化を示さなかった。一方、類似度と遷移度は、調査期間を通じて増加した。この結果から、植生回復の評価指標として、出現種数と多様度指数は、施工後の短期的な評価において有効であり、中長期の評価では、類似度による評価が有効であることが示唆された。

第3章では、自然侵入促進工の植生回復過程、植生回復への有効性と判定基準を明らかにするため、愛媛県、香川県、鳥取県、京都府の施工地を対象に、施工後3～7年の継続的なモニタリングを実施した。各調査地における種組成と相観に基づき植生回復過程を整理した結果、施工当年から翌年に成立した草本群落は、施工後2～3年の移行期を経て、木本群落に到達することを一般的な回復過程として捉えることができた。その一方で、岩盤の切土のり面や岩屑による盛土のり面といった厳しい土壌条件や、母樹林からの距離が大きく種子の供給に不利な立地においては、木本群落の成立が遅れる傾向を確認した。また第2章に準じ、生態的指標を用いて植生回復を評価した結果、出現種数と多様度指数は、初期に増加するが、施工後2～3年を境に減少または横ばいに転じることを確認した。類似度については一定の傾向は見出されなかった。

第4章では、表土利用工と自然侵入促進工の緑化特性の違いを明らかにし、効果的な使い分けを可能とすることを目的として、全国の表土利用工26箇所と自然侵入促進工25箇所において植生調査の記録を整理し、植被率と群落高さを基に植生回復の効果を比較した。効果の指標として、植被率が50%に達する施工後の月数 mc_{50} を提案し、両工法を比較した

ところ、自然侵入促進工の mc_{50} は表土利用工に比べ有意に短く、植生の回復速度に勝ることが確認された。また、自然侵入促進工は、一般的な立地条件においては表土利用工と同程度の植生回復効果が認められたが、土質条件が厳しい立地においては植被が遅れる傾向が認められた。

第 5 章では、前章までの結果から総合的な考察を行った。両工法の植生回復過程については、ともに施工当年から 1 年後に草本群落が成立すると同時に、木本類の侵入と発芽が開始し、5~10 年を経て木本群落の成立に至るという一般的な初期回復傾向を明らかにした。回復の判定基準については、現在の公的な施工指針では、経験的に定められた暫定的な評価基準として、表土利用工と自然侵入促進工、それぞれ施工後 3 年と 5 年後の植被率が 50%以上であることが示されている。この評価基準と本研究で確認された生育状況との間に乖離はみられず、また植被率が 50%を越えた群落はその後も順調な植生回復を継続していたことから、この評価基準の妥当性が支持された。また、より有効な植生回復の評価方法として、植被率と群落高の量的指標に加え、植生の質的要素である種数や周辺植生との共通種数を併用した評価方法が提案された。また mc_{50} が両工法の有効性を比較する指標として有用であることが示された。適用方法の明確化については、母樹林からの距離や土質条件が自然侵入促進工の植生回復に影響することが示唆されたことから、表土採取の可否、母樹林との距離、土質条件によって、表土利用工と自然侵入促進工を使い分ける方法が提案された。

これらの成果は緑地環境科学ならびに緑化学の発展に大いに寄与するものであり、本論文の審査ならびに最終試験の結果と併せて、博士（緑地環境科学）の学位を授与することを適当と認める。