森林表土を利用した緑化のり面に成立する植生と気候要因の関係

久保満佐子^{*1)}・松江正彦²⁾・飯塚康雄²⁾

1) 島根大学 Shimane University

2) 国土交通省国土技術政策総合研究所 National Ins. for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

摘要: 森林表土利用工により成立する植生の傾向を把握するために、30 地域 65 箇所の緑化のり面で成立する植生と施工後月数、気候要因、施工要因、のり面属性を調べた。二元指標種分析により植生を分類した結果、冷温帯のヤマハンノキやバッコヤナギを指標種とする群落と、暖温帯のセイタカアワダチソウを指標種とする群落に二分され、さらに暖温帯では施工当年にメヒシバが優占する群落、降水量が少なく市街地周辺などのセイタカアワダチソウが優占する群落、ススキと多くの木本を含む群落に分類された。冷温帯では多雪地のヤマハンノキやタニウツギが優占する群落と、治山堰堤のり面のフサザクラが優占する群落に分類された。施工後初期は草本の被度が高いが、施工後月数の経過に伴い草本の被度が減少、木本の被度が増加した。ヌルデやタニウツギ、アカメガシワなどの埋土種子に多い木本種に加え、ヤマハンノキやバッコヤナギ、ススキ、セイタカアワダチソウなど、周辺から飛来する種子により植生が成立していた。北海道から鹿児島県までの広域レベルで見れば、気候要因に比べると施工要因やのり面属性の影響が小さく、各地域の気候要因に適した植生が成立していることが確認された。

キーワード: 暖かさの指数、飛来種子、埋土種子、平均年降水量、森林表土利用工

KUBO, Masako, MATSUE, Masahiko and IIZUKA, Yasuo: **Climate conditions and revegetation using forest topsoil in the slopes**

Abstract: To clarify the vegetation types after revegetation using forest top-soil, we investigated the vegetation, climate conditions and consulting and/or slope conditions in the 65 sites including 1-8 passing years in 30 regions in Japan. A two way indicator species analysis divided species composition of plants of 65 sites into the vegetation with indicator species including *Alnus hirsuta* and *Salix bakko* in cool-temperate zone and that including *Solidago altissima* in warm-temperate zone. Plant species in warm-temperate zone, moreover, divided into the vegetation with dominant *Digitaria adscendens* in the early stages after greening, that with dominant *S. altissima* in lower annual mean precipitation around the urban area, and that with *Miscanthus sinensis* and many tree species. In cool-temperate zone, the vegetation is divided into those with *A. hirsuta* and *Weigela hortensis* in the heavy snow area and those with *Euptelea polyandra* in the dams. Herb cover rate decreased and tree cover rate increased with passing months after greening, including various tree species from buried soil seeds and/or dispersed seeds depending surrounding environment. It is considered that the construction factors is minor factor than climate condition because our study includes the sites from Hokkaido to Kagoshima prefecture, meanwhile, our result imply that this revegetation method could support the vegetation types depending the regional climate conditions.

Key word: annual mean precipitation, buried soil seed, dispersed seed, revegetation using forest top-soil, Warm Index

1. はじめに

近年、外来種の逸出³¹⁾や遺伝子攪乱の問題⁵⁶⁾を背景に、地域性を考慮した緑化植物の取り扱いが求められている。2004 年には特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律（以下、外来生物法、<http://www.env.go.jp/nature/intro/>、2011 年 11 月参照）が施行されたが、のり面の緑化に用いられてきた外来植物は、規制による施工現場の混乱の可能性を考慮して、環境省、農林水産省、国土交通省

の 3 省で別途総合的な検討を行うこととなり、代替となる地域性種苗や代替工法の開発が急務とされた。しかし、地域性種苗はその適用範囲を特定することが困難であり²¹⁾、供給体制が未整備でもあることから、限られた種子量のなかで需要が増加すると供給できなくなることも懸念されている¹⁶⁾。これに対し、森林表土に含まれている埋土種子の発芽・定着により緑化を行う工法（以下、森林表土利用工）は、比較的安定して材料を確保できることから、地域の生物多様性の保全を考慮した緑化工法の一つとされている⁵⁰⁾。

森林表土に含まれる埋土種子は表層 5 cm に多く⁵⁾、埋土種子の組成は地上部の植生と類似しないものの^{34, 36, 40)}、鳥被食型散布種子^{33, 34, 36)}や風散布種子^{3, 28, 46)}の先駆種の木本種子が多く含まれている。こうした森林表土を緑化資材として利用するために、表土の保存期間による埋土種子組成への影響や^{10, 57)}、撒き出しの時期による発芽の個体数や種類の違いなど^{7, 8, 25)}、森林表土の緑化資材としての可能性について報告されてきた。

1970 年代には、森林表土を撒き出す方法で緑化が行われていたが⁵⁷⁾、施工開発の分野において、植生基材に対する森林表土の含有率の適応範囲や植生基材と森林表土の適合性など、実用化に向けた研究が進み^{9, 11, 38, 39, 54, 55)}、現在は植生基材に表土を 10~20% で混合した吹付工法として広く採用されている。森林表土利用工で成立する植生に関しては、埋土種子に含まれる木本類による群落が形成されることが多くの事例で確認されている^{9, 12, 14, 32, 38, 54)}。しかし、成立する植生について全国的な比較は行われておらず、施工地により成立する植生の予測は困難な状況にある。

そこで本研究では、森林表土利用工が採用された全国の施工地に成立する植生を調べ、本工法により成立する植生を分類する。施工地の周辺環境や経過年数、気候要因、施工要因、のり面属性について調べ、分類された植生に影響を与える要因を考察した。本工法が木本群落を目標植生としていることから、施工後の経過月数による木本類の変化についても考察した。また、森林表土利用工の採用状況として、本工法の採用理由や施工場所、利用した表土の情報をまとめた。

2. 調査地および調査方法

2.1 調査地

国土交通省や地方自治体の工事事務所および緑化施工業者への聞き取りにより、北は北海道の白老町から南は鹿児島県の奄美大島まで、森林表土利用工の施工地 30 箇所を調査地として選定した(表-1)。選定に当たっては、一般道路ののり面を中心にしたが、本工法が比較的新しい工法で施工地が少ないことから、聞き取りの中から施工地の情報が得られた治山堰堤のり面や林道のり面も調査地に含めた。植栽や種子の混入が行われた施工地や、草原や農耕地の表土を利用した施工地は除外し、森林表土を利用した施工地のみを調査対象とした。

30 箇所の調査対象地で、同一のり面内に施工年月や施工条件(表土の含有率や利用方法、生育基盤の造成厚)、のり面方位が異なる部分がある場合は複数の調査のり面とし、その結果、調査のり面数は 65 箇所となった。

2.2 調査方法

2.2.1 要因の測定

成立する植生へ影響を与える要因を把握することを目的として、調査地の周辺環境や施工後月数、気候要因、施工要因、のり面属性を資料や聞き取り、現地調査により調べた。第一に、調査地の周辺環境は、調査のり面の周辺半径約 1 km の環境を現地調査から調べた。気候要因は、平均年降水

量(mm)、年間の降雪の深さ合計(以下、降雪深, cm)、暖かさの指数(℃・月)、標高(m)とした。施工要因は、調査のり面の造成条件(切土か盛土)、表土の含有率(%), 表土の利用方法(厚層基材吹付工や客土吹付工、表土の張り付け、撒き出しなど)、表土を含めた生育基盤の造成厚(以下、造成厚, cm)とした。のり面属性は、のり面方位、勾配(°)、のり長(m)とした。

施工後月数および標高、造成条件、表土の含有率、表土の利用方法、造成厚は、資料や事務所および施工業者への聞き取りにより調べ、のり面方位と勾配、のり長は現地調査により調べた。平均年降水量と降雪深は、各調査地の近隣にある気象庁観測地のアメダスデータ(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, 2011 年 12 月参照)にある全測定期間内の年合計の平均値とした。暖かさの指数は、測定期間内の月平均気温の平均値から算出し、気温の通減率を標高 100 m で 0.6℃ として求めた。

表土の含有率が 100% である場合を除いては、一般に植生基材にはピートモスやバーク堆肥などの主基盤材に肥料を混合することが多いため、植生に影響を与える要因として施肥量が考えられる。しかし、施肥量はほとんどの調査地で情報を入手できなかったため、本研究では施肥量を一要因として取り上げることはできなかった。

2.2.2 植生調査

2009 年から 2011 年の 6 月から 11 月に、調査のり面 65 箇所を調査区を設置して植生調査を行った。調査区は群落高に応じて設定し、草本群落は 1 m×1 m、低木から亜高木群落は 2 m×2 m から 5 m×5 m とした(高木の群落はなかった)。調査のり面の平均的な植生を把握できるように、のり面全体にできる限り複数の調査区を設定するようにした。調査区の数、調査のり面の面積が小さく、さらに木本群落が成立している場合は、1~2 箇所と少なく、調査のり面の面積が大きい場合は調査区が多くなる(調査のり面当たり平均 4.5 調査区)。のり尻は流出した表土が堆積し、植物が繁茂する可能性があることから、のり尻は除いた。

各調査区の群落高(cm)と植被率(%), 出現する植物の種類と被度を調べ、被度は Braun-Blanquet (1964)¹⁾による被度階級(+ : 1% 以下, 1 : 1~10%, 2 : 10~25%, 3 : 25~50%, 4 : 50~75%, 5 : 75~100%)を用いた。各調査のり面の各出現種の被度は、調査区の各出現種の被度階級の値を平均し、平均被度として算出した。

2.2.3 解析方法

調査のり面に成立する植生を把握するために、出現種の被度百分率に基づき二元指標種分析(two-way indicator species analysis⁶⁾)により、調査のり面を分類した。解析においては、被度百分率の中央値を各出現種の植被率とし、被度階級+を 0.1%, 被度階級 1 を 5%, 被度階級 2 を 17.5%, 被度階級 3 を 37.5%, 被度階級 4 を 62.5%, 被度階級 5 を 87.5%とした。全調査のり面の出現種を解析の対象とするとデータが膨大になるため、5 回以上出現し、同定できた種を解析の対象とした。

表-1 調査地の工法採用理由および施工場所、利用した表土の情報

Table 1 List of the study sites including the information of consulted area and/or used soil.

都道府県	調査地	工法採用理由	施工場所	周辺環境	施工年月	調査のり面数	表土採取年月	表土採取地	表土の保管方法	保管場所
北海道	白老	自然休養林内に あるため	道路のり面	湖および落葉広 葉樹林	2006年6月	1	2006年6月	ダケカンバ林	土嚢袋に入れ、バ レットに積載し、 シートで被覆	林内
青 森	十和田	国立公園内にあ るため	道路のり面	落葉広葉樹林	2010年8月	2	2010年6月	ブナ・ミズナラ林	土嚢袋に入れ、バ レットに積載し、 シートで被覆	道路脇
					2010年9月	1	2010年6月	ブナ・ミズナラ林	土嚢袋に入れ、バ レットに積載し、 シートで被覆	道路脇
					2006年10月	1	記録なし	記録なし	土嚢袋に入れ、バ レットに積載	空き地
	津軽	自然公園内にあ るため	道路のり面	ダム湖および落 葉広葉樹林	2004年12月	1	2004年8月	記録なし	土嚢袋に入れ、バ レットに積載	林内
岩 手	雫石	国立公園内にあ るため	道路のり面	落葉広葉樹林	2002年6月	1	2002年6月	ミズナラ林	土嚢袋に入れ、バ レットに積載	道路脇
	滝沢	国立公園に隣接 しているため	治山堰堤	落葉広葉樹林	2002年7月	3	2002年7月	ミズナラ林	土嚢袋に入れ、バ レットに積載	道路脇
福 島	白河	国立公園に隣接 しているため	道路のり面	落葉広葉樹林お よびアカマツ林	2006年2月	2	記録なし	ミズナラ林	記録なし	記録なし
茨 城	ひたちなか	国営公園内にあ るため	公園内の散 策路のり面	海岸アカマツ林	2008年3月	2	2008年2月	アカマツ林	土嚢袋に入れ、バ レットに積載し、 シートで被覆	空き地
栃 木	鹿沼	試験工事	道路のり面	落葉広葉樹林	2005年8月	1	2005年8月	ミズナラ林	土嚢袋に入れ、シ ートで被覆	林内
新 潟	長岡	国営公園内にあ るため	公園内の道 路のり面	落葉広葉樹林	2005年11月	1	2005年11月	クリ・コナラ林	土嚢袋に入れ、直置 き	林内
山 梨	富士河口湖	国立公園内にあ るため	治山堰堤	湖および落葉広 葉樹林	2004年12月	4	2004年11月	イヌブナ林	記録なし	記録なし
	塩山	試験工事	道路のり面	落葉広葉樹林	2008年5月	1	2008年4月	ミズナラ林	土嚢袋に入れ、シ ートで被覆	林内
岐 阜	高山	検討委員会の指 摘をうけて	道路のり面	耕作地および落 葉広葉樹林	2002年6月	3	2002年6月	コナラ林	保管期間なし	道路脇
愛 知	鞍ヶ池	検討委員会の指 摘をうけて	道路のり面	市街地および人 工林	2002年12月	1	2001年11月	コナラ林	土嚢袋に入れ、ベニ ヤ板に積載し、シ ートで被覆	空き地
	豊田	検討委員会の指 摘をうけて	道路のり面	市街地および人 工林	2003年4月	1	2002年2月	コナラ林	土嚢袋に入れた	林内
三 重	南伊勢	不明	道路のり面	落葉広葉樹林お よび人工林	2009年3月	2	2009年2月	アラカシ林	土嚢袋に入れた	空き地
滋 賀	長浜	開発地の自然保 全のため	道路のり面	落葉広葉樹林	2002年7月	3	2002年5月	クスギ・コナラ林	土嚢袋に入れた	空き地
京 都	西浅井	絶滅危惧種生息 地のため	湿地の散策 路のり面	人工林および落 葉広葉樹林	2003年9月	2	2003年7月	クスギ・クリ林	土嚢袋に入れた	空き地
	京都	隣接する大学の 要望により	道路のり面	アカマツ林	2003年8月	1	2003年7月	アカマツ林	土嚢袋に入れた	空き地
	宮津	風致保全林内に あるため	道路のり面	人工林および落 葉広葉樹林	2005年3月	4	2005年2月	アカマツ林	土嚢袋に入れた	空き地
兵 庫	三木	里山林の保全の ため	公園内の道 路のり面	市街地および公 園緑地	2005年9月	1	2005年7月	アカマツ林	土嚢袋に入れた	空き地
	神戸	試験工事	公園内の道 路のり面	耕作地および公 園緑地	2007年2月	3	2007年2月	アベマキ林	ビニール袋に入れた	屋内
鳥 取	八頭	国定公園に隣接 しているため	道路のり面	人工林および落 葉広葉樹林	2006年7月	1	2006年7月	スギ林	土嚢袋に入れ、バ レットに積載し、 シートで被覆	道路脇
島 根	江府	国立公園に隣接 しているため	道路のり面	人工林および落 葉広葉樹林	2005年6月	1	2005年6月	ミズナラ林	土嚢袋に入れた	道路脇
	浜田	表土の再利用と して	道路のり面	人工林および落 葉広葉樹林	2008年9月	1	2008年8月	コナラ林	シートの上に積載	空き地
広 島	庄原	試験工事	公園内の散 策路のり面	市街地および公 園緑地	2009年1月	1	2008年12月	コナラ林	シートの上に積載	空き地
	世羅	県の自然環境保 全地域のため	道路のり面	人工林および落 葉広葉樹林	2006年7月	3	2006年6月	コナラ林	ビニール袋に入れた	屋内
香 川	仲多度	試験工事	公園内の散 策路のり面	市街地および公 園緑地	2007年1月	6	2007年1月	アカマツ林	土嚢袋に入れ、バ レットに積載し、 シートで被覆	屋内
	佐 賀	不明	道路のり面	耕作地および人 工林	2009年11月	2	2009年8月	竹・コナラ林	野積み	空き地
鹿児島	屋久島	島外植物の導入 を回避するため	道路のり面	常緑広葉樹林	2010年2月	2	2009年8月	竹・コナラ林	野積み	空き地
					2004年3月	2	2004年2月	スダジイ林	記録なし	記録なし
	奄美	島外植物の導入 を回避するため	道路のり面	常緑広葉樹林	2005年3月	1	2005年1月	スダジイ林	記録なし	記録なし
					2005年2月	1	2005年2月	オキナワジイ・ウ ラジロガシ林	土嚢袋に入れた	林内

周辺環境は、現地調査から調査地の周辺半径約1kmの主要な環境を判断した。表土の採取地は全て調査地に隣接する森林であり、優占する樹種を記した。
 Surrounding environment of the study sites (within about 1 km radius) was confirmed by the field investigation. The forests where the soil was collected were near the study sites and the name of the forests means the dominant tree species.

次に、二元指標種分析によって分類された各群の施工後月数、気候要因（平均年降水量、暖かさの指数、降雪深、標高）、施工要因（造成条件、表土の含有率、表土の利用方法、造成厚）、のり面属性（のり面方位、勾配、のり長）、成立する植生の群落高および植被率の違いを調べた。

二元指標種分析はPC-ORD³⁰⁾を使用し、その他の解析は全てR (Ver. 2.10.1⁴⁴⁾)を使用した。

3. 結 果

3.1 森林表土利用工の採用状況

森林表土利用工による緑化は2002年以降に施工されたのり面で確認されたが（表-1）、これは外来生物法の施行が2004年であり、のり面への外来植物の導入が問題視され始めたことが利用増加の背景にあったと考えられる。自然公園などでは外来植物の利用が規制されていることから、調査地は国立公園や国定公園などに多かった。その他に、工事に伴う検討委員会の指摘によって採用された箇所も多かった。屋久島や奄美大島のような離島では、島外から外来植物の持ち込みを避けるために利用されていた。

表土の採取地は全て調査地周辺の森林であった（表-1）。

森林の種類は、アカマツ林やコナラ林、ミズナラ林などの二次林が多く、その他にダケカンバ林やブナ林、スダジイ林、スギやヒノキの人工林などがあつた。表土の採取は、施工の月やその1~2ヶ月前に行われることが多かった。表土の保管方法は、土嚢袋に入れて道路脇や施工地周辺の空き地、林内に保管する 경우가多かったが、袋やシートを利用せずに野積みにする場合もあった。

3.2 調査のり面の環境・施工条件等の概要

調査のり面65箇所の施工後月数、気候要因、施工要因、のり面属性をヒストグラムにまとめた（図-1）。施工後月数は12ヶ月（当年）から96ヶ月（8年）まであつた（図-1 a）。平均年降水量は1,000~2,000 mmの箇所が多く、0~1,000 mmは青森県の十和田、1,000~1,500 mmは兵庫県や香川県、最大の4,000~4,500 mmの箇所は鹿児島県の屋久島であつた（図-1 b）。暖かさの指数は80~120℃・月の箇所が多く、40~80℃・月の箇所は北海道や青森県、岩手県など、160~200℃・月の箇所は鹿児島県の屋久島と奄美であつた（図-1 c）。降雪深は0~200 cmの箇所が多く、最大は青森県の津軽における748 cmであつた（図-1 d）。標高は0~300 mが最も多く、最高は1,400 mであつた（図-1 e）。

図-1 各要因の調査のり面数

Fig. 1 Number of the study slopes with different factors

造成条件は、調査のり面の75%が切土であった(図-1 f)。表土の含有率10%の箇所は調査のり面の74%(図-1 g)、表土の利用方法では厚層基材吹付工が調査のり面の86%を占めていた(図-1 h)。表土吹付は表土100%を吹き付ける工法、撒き出しは表土100%を撒き出す方法、張り付けは表土100%を撒き出した後、表面に圧力をかけて固める方法である。造成厚は3 cmと5 cmが調査のり面の75%を占めていた(図-1 i)。ただし、張り付けおよび撒き出しでは、それぞれ厚さ10 cmおよび30 cmで利用されていた。

調査のり面の方位はいずれの方位も同程度あった(図-1 j)。のり面の勾配は30~50°が多かった(図-1 k)。最大の勾配は68°であったが、60°以上(3箇所)ではのり枠工が施工されていた。のり長は3~12 mが多く、最長は16 mであった(図-1 l)。のり枠工が施工されているのり面では、のり長が植生に影響を与える可能性が低いので、枠の長さ(約1 m)をのり長とした。

3.3 調査のり面の植生の分類

調査のり面65箇所、出現回数が5回以上の種は93種あった(表-2)。調査のり面での平均被度(%)が最も高い種はヌルデ(*Rhus javanica* L. var. *chinensis* (Mill.) T. Yamaz., 10.7%)、その他にセイタカアワダチソウ(*Solidago altissima* L., 7.7%)やススキ(*Miscanthus sinensis* Andersson, 7.4%)、ヤマハンノキ(*Alnus hirsuta* (Spach) Turcz. ex Rupr. var. *sibirica* (Spach) C.K. Schneid., 5.8%)、本調査ではヤマハンノキとケヤマハンノキ(*Alnus hirsuta* (Spach) Turcz. ex Rupr. var. *hirsuta*)を区別しなかった)、ヨモギ(*Artemisia indica* Willd. var. *maximowiczii* (Nakai) H. Hara, 6.1%)などが多かった。出現回数が最も多かったのはヨモギ(52回)、その他にススキ(46回)やヌルデ(44回)、セイタカアワダチソウ(40回)、タラノキ(*Aralia elata* (Miq.) Seem., 35回)などが多かった。

二元指標種分析では、調査のり面に成立する植生の傾向を把握することを目的とするため、第三分割以降は調査のり面数が5以上含まれる分割までとした。その結果、65箇所の調査のり面は7つの群に分割された(図-2)。第一水準では、セイタカアワダチソウを指標種とするA群からD群と、キブシ(*Stachyurus praecox* Siebold et Zucc.)やヤマハンノキ、アキタブキ(*Petasites japonicus* (Siebold et Zucc.) Maxim. subsp. *giganteus* (G. Nicholson) Kitam.), バッコヤナギ(*Salix caprea* L.)を指標種とするE群からG群に分割された(固有値=0.588)。A群はメヒシバ(*Digitaria ciliaris* (Retz.) Koeler)を指標種としてその他と分割され(固有値=0.464)、B群はセイタカアワダチソウやカラスノエンドウ(*Vicia sativa* L. subsp. *nigra* (L.) Ehrh.)、ヨモギ、C群およびD群はススキを各指標種として分割された(固有値=0.384)。D群はアカメガシワ(*Mallotus japonicus* (L.f.) Müll. Arg.)を指標種としてC群と分割された(固有値=0.440)。さらに、G群はフサザクラ(*Euptelea polyandra* Siebold et Zucc.)を指標種としてE群およびF群と分割され(固有値=0.518)、E群はヒメジョオン(*Erigeron annuus* (L.) Pers.)

図-2 二元指標種分析による調査のり面植生の分類
数値は分割時の固有値を、種名は分割の指標種を表す。

Fig. 2 The classification diagram of plots in 65 study slopes based on two-way indicator species analysis of plant species composition.

Numbers represent eigenvalues, and listed species are the indicator species.

やススキ、ゲンノショウコ(*Geranium thunbergii* Siebold ex Lindl. et Paxton)を指標種としてF群と分割された(固有値=0.397)。

3.4 分類群の本木および草本の被度

森林表土利用工は本木群落を目標植生とすることから、二元指標種分析の本木の指標種である5種(キブシ、ヤマハンノキ、バッコヤナギ、フサザクラ、アカメガシワ)および出現回数が10回以上の6種(ヌルデ、タニウツギ、リョウブ(*Clethra barbinervis* Siebold et Zucc.), ヤマハギ(*Lespedeza bicolor* Turcz.), タラノキ、アカマツ(*Pinus densiflora* Siebold et Zucc.)), その他に埋土種子として多く確認されている3種(ネムノキ(*Albizia julibrissin* Durazz.), ヒサカキ(*Eurya japonica* Thunb. var. *japonica*), カラスザンショウ(*Zanthoxylum ailanthoides* Siebold et Zucc.))^{24-26, 33, 34)}を加え、14種それぞれの被度を群ごとにまとめた(図-3 a)。比較のため、草本についても指標種についてのみ、同様にまとめた(図-3 b)。

調査のり面に出現した代表的な上記14種の本木種はA群では認められず、B群では5種、C群では9種、D群では7種、E群では7種、F群およびG群は各5種であった。ヌルデはBからD群で他群に比べて平均被度が高かった。EからG群の指標種であるヤマハンノキは、F群とG群の平均被度が約30%、タニウツギはE群の平均被度が34.0%、D群の指標種であるアカメガシワはD群の平均被度が10.0%あり、いずれも他群に比べて高かった。G群の指標種であるフサザクラは、G群にのみ出現し、平均被度が15.0%であった。リョウブはCおよびD群に出現したが、各平均被度は1.6%および4.6%であった。ヒサカキはCおよびD群に出現し、各平均被度は0.6%および2.1%であった。EからG群の指標種であるキブシとバッコヤナギは、いずれもEからF群に出現し、平均被度は2%未満であった。カラスザンショウはD群にのみ出現し、平均被度は1.7%

表-2 調査のり面に出現した植物のリスト

Table 2 List of the plants observed in the present study at each region

	平均 被度	出現 回数	都道府県別の平均被度																			
			北海道	青森	岩手	福島	茨城	栃木	新潟	山梨	岐阜	愛知	三重	滋賀	京都	兵庫	鳥取	島根	広島	香川	佐賀	鹿児島
スルデ	10.7	44	0.0	2.5	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	62.5	11.3	0.0	4.5	21.5	6.9	21.3	0.1	27.5	24.6	0.0	0.0
セイトカアワダチソウ	7.7	40	0.1	0.0	0.0	0.1	5.0	0.0	5.0	0.0	0.0	11.3	0.0	0.1	1.0	38.8	0.0	0.1	6.9	43.3	5.6	0.0
ススキ	7.4	46	0.0	3.0	0.0	11.3	2.6	0.0	37.5	0.0	30.9	17.5	0.0	20.5	4.0	6.9	0.1	2.5	4.4	0.0	0.0	21.3
ヨモギ	6.1	52	17.5	5.4	1.3	17.5	0.1	5.0	0.1	1.0	0.1	0.1	0.0	5.0	0.0	5.0	5.0	0.0	8.1	35.8	0.0	0.0
ヤマハシノキ	5.8	16	5.0	3.0	48.1	8.8	0.0	0.0	0.0	35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
クズ	5.5	21	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	0.0	5.0	0.0	1.7	11.3	0.0	0.0	16.0	21.3	52.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
タニウツギ	4.8	20	0.0	23.8	14.4	0.0	0.0	0.0	17.5	0.0	1.7	0.0	0.0	20.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
メヒシバ	4.3	12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	68.8	0.0
オオアレチノギク	2.7	12	0.0	0.0	0.0	0.0	62.5	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0	2.5	0.0
アカメガシワ	2.6	25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.5	2.6	0.0	13.0	1.3	0.0	5.0	0.0	6.3	0.0	1.3
アキタブキ	2.4	13	5.0	5.5	28.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
スサカビ	2.1	16	5.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.4	0.0
ネムノキ	1.4	12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	2.5	5.0	0.0	16.9	0.0	0.0	0.0
リョウブ	1.4	18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3	2.6	5.5	3.6	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
オノエヤナギ	1.2	8	5.0	9.2	0.0	0.0	0.0	17.5	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
フサザクラ	1.2	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ヤマハギ	1.2	18	0.0	9.2	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	3.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0
ママツヨイグサ	1.1	23	0.0	0.0	0.0	11.3	11.3	0.1	5.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	1.3	0.1	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0
ヒメムカシヨモギ	1.1	24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.1	0.1	3.8	2.5	5.6	0.0
タラノキ	1.0	35	5.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	3.4	0.1	2.5	1.0	1.0	2.5	0.0	0.0	1.3	0.8	0.0	1.3
アカマツ	0.9	19	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	8.8	0.0	1.0	0.1	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
エゴノキ	0.8	12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.1	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
カラスノエンドウ	0.8	15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	8.4	0.0	0.0
メドハギ	0.7	23	0.0	0.0	0.0	8.8	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	1.0	0.0	1.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
クマイチゴ	0.7	27	5.0	0.1	1.3	0.0	0.0	0.1	0.0	5.5	1.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0
ヒサカキ	0.6	14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.1	2.0	1.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
メリケンカルカヤ	0.6	16	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	1.0	1.3	0.0	2.5	2.5	0.0	0.0	0.0
アキノエノコログサ	0.6	12	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	8.1	0.0
ヒメジョオン	0.6	29	0.0	0.9	0.0	8.8	0.0	5.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
ヨウシュヤマゴボウ	0.6	18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.8	2.5	0.0
オカトラノオ	0.6	16	0.0	1.7	0.0	5.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
オトコエシ	0.6	12	5.0	3.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
アレチヌスビトハギ	0.6	10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.9	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0
ヤマグワ	0.5	13	0.0	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
フジ	0.5	16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	7.5	0.1	0.0	0.0	0.0	1.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
コウゾリナ	0.5	17	5.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
ヘクソカズラ	0.5	20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	1.0	0.1	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ケネザサ	0.5	7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	6.9	0.0	0.0	0.0
ヤブメ	0.5	11	0.0	0.0	0.0	8.8	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
スギナ	0.5	20	0.0	2.5	0.0	5.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ツユクサ	0.5	17	0.0	0.0	0.0	2.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	1.3	0.0	3.8	0.0
ヒメコウゾ	0.5	11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.5	0.0	2.5	0.0	0.0
アキノノゲシ	0.4	10	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	2.5	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0
カラスザンショウ	0.4	9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
クサイチゴ	0.4	16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.1	1.3	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0
モミジイチゴ	0.4	16	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ヒヨドリバナ	0.4	23	0.1	0.1	1.3	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
イヌタデ	0.4	10	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	0.0
ギンシ	0.4	14	0.0	1.7	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ゲンノショウコ	0.3	18	0.1	0.0	0.0	5.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
バコヤナギ	0.3	14	5.0	0.0	1.3	0.0	0.0	5.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
カタバミ	0.3	23	0.0	0.0	0.0	2.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0
ウリカエデ	0.3	11	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.1	0.0	0.0	3.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
シロツメクサ	0.3	12

図-3 植生分類群別、主要木本種および草本種の被度
aは木本、bは草本の各種の平均被度、A群からG群は二元指標種分析によって分割された植生単位を表す。木本は二元指標種分析の指標種および出現回数が10回以上の種、過去の報告で埋土種子に多く確認されている種を示す。草本は、二元指標種分析の指標種のみを示す。被度は各植物種の被度百分率の中央値を合計した。

Fig. 3 Cumulative vegetation cover of major tree species (a) and herbaceous species (b) with different group.

Each group means the vegetation types based on two-way indicator species analysis. Tree species includes the indicator species, observed species more than 10 slopes in the 65 study slopes and major species in the buried seeds. Herbaceous species includes indicator species. The data presented are amount of the mean cover rates per slope and the mean cover rates was obtained from median value of cover rates in each cover class (+: 0.1, 1: 7.5, 2: 17.5, 3: 37.5, 4: 62.5, 5: 87.5).

であった。

草本の被度はA群が最も高く137.6%であった。なお、本研究では、各出現種の被度階級を被度百分率の中央値に置き換え、それを合計して草本の被度としたため、被度の値は100%以上となった（以下、その他草本の被度と施工後月数との関係、木本の被度合計と施工後月数との関係、草本の被度合計と施工後月数との関係も同様）。AからD群の指標種であるセイタカアワダチソウは、B群の平均被度が31.3%、CおよびD群の指標種であるススキはC群の平均被度が19.3%と、いずれも他群より高かった。ヨモギは最も広く出現し、B群の平均被度が18.8%であった。A群の指標種であるメヒシバは、A群の平均被度が68.8%と全種の中で

最も高い値であった。EからG群の指標種であるアキタブキはE、F、G群に出現し、いずれも5~10%であった。

以上の7群について、二元指標種分析で得られた指標種と優占する木本種から便宜的に群落名をつけ、A群をメヒシバ群落、B群をセイタカアワダチソウ群落、C群をススキ群落、D群をアカメガシワ群落、E群をタニウツギ群落、F群をヤマハンノキ群落、G群をフサザクラ群落とした。ただし、群落名とした種が全ての箇所で優占したのではない。指標種が複数ある場合は優占種を考慮し、植物群落として各群を把握できる群落名になるように努めた。

3.5 各群落の気候要因および施工要因

二元指標種分析により得られた7群落の施工後月数および気候要因、施工要因、のり面属性を表-3に示した。施工後月数は、メヒシバ群落は平均8.5ヶ月と最も小さく、ススキ群落、タニウツギ群落、フサザクラ群落より有意に小さかった（ホルムの方法、3.5項は以下同様、 $P<0.05$ ）。その他は概ね平均50~70ヶ月にあったが、各群落の標準偏差の値は大きかった。

平均年降水量は、セイタカアワダチソウ群落は最も少なく、アカメガシワ群落より有意に少なかった（ $P<0.05$ ）。降雪深はタニウツギ群落およびヤマハンノキ群落は平均約500mmと深く、タニウツギ群落およびヤマハンノキ群落は他の全ての群落より、ススキ群落はセイタカアワダチソウ群落より有意に深かった（ $P<0.05$ ）。暖かさの指数は、タニウツギ群落およびヤマハンノキ群落がメヒシバ群落およびセイタカアワダチソウ群落、ススキ群落、アカメガシワ群落より、フサザクラ群落がメヒシバ群落およびセイタカアワダチソウ群落、アカメガシワ群落より有意に小さく（ $P<0.05$ ）、ススキ群落がアカメガシワ群落より有意に小さかった（ $P<0.05$ ）。メヒシバ群落およびセイタカアワダチソウ群落、ススキ群落、アカメガシワ群落（AからD群）が85℃・月以上、タニウツギ群落およびヤマハンノキ群落、フサザクラ群落（EからG群）が85℃・月以下となり、暖温帯の照葉樹林の85~180℃・月の区分、冷温帯の落葉広葉樹林の45~85℃・月¹⁸⁾に対応した。標高は、暖温帯の4群落より冷温帯の3群落が高い傾向があった。フサザクラ群落は暖温帯の4群落およびタニウツギ群落より、ヤマハンノキ群落はメヒシバ群落、セイタカアワダチソウ群落、アカメガシワ群落より有意に高く（ $P<0.05$ ）、ススキ群落はアカメガシワ群落より有意に高かった（ $P<0.05$ ）。

造成条件については、調査のり面が主に切土であるため、切土ではいずれの群落も成立していたが、盛土ではススキ群落が多かった。表土の含有率と造成厚は、いずれも各群落による有意な違いはなかった（ $P>0.05$ ）。盛土の調査のり面では、表土の利用方法が張り付けおよび撒き出しが表土100%を10cmまたは30cmの厚さで利用されていた。

のり面方位は、タニウツギ群落およびフサザクラ群落が北に偏る傾向があり、冷温帯の3群落は全体に北向きに多かった。その他に方位による植生の傾向は確認されなかった。勾配はヤマハンノキ群落が52.0°と最も急で、フサザク

表-3 各群の施工後月数および環境要因, 施工要因, のり面属性, 植物群落の状況

Table 3 Passing months after greening, climate, consulted and slope conditions in each vegetation group.

	A 群 メヒシバ群落	B 群 セイタカアワ ダチソウ群落	C 群 ススキ群落	D 群 アカメガシワ 群落	E 群 タニウツギ群落	F 群 ヤマハンノキ 群落	G 群 フサザクラ群落
調査地数	1	5	10	8	4	3	3
調査のり面数	4	14	17	12	6	6	6
施工後月数	8.5 ± 1.8 ^a	48.7 ± 5.3 ^{ab}	62.4 ± 25.3 ^b	49.4 ± 30.5 ^{ab}	73.2 ± 19.0 ^b	54.5 ± 44.8 ^{ab}	63.7 ± 26.2 ^b
気候要因							
平均年降水量 (mm)	2,207.3 ± 0.0 ^{ab}	1,228.6 ± 221.7 ^a	1,951.5 ± 939.1 ^{ab}	2,128.7 ± 854.6 ^b	1,462.5 ± 364.7 ^{ab}	1,261.0 ± 304.3 ^{ab}	1,437.4 ± 188.5 ^{ab}
年間の降雪の深さ合計 (cm)	6.0 ± 0.0 ^b	18.7 ± 54.1 ^c	201.0 ± 216.8 ^b	60.0 ± 88.3 ^{bc}	537.3 ± 267.6 ^a	461.5 ± 26.8 ^a	157.2 ± 164.1 ^{bc}
暖かさの指数 (℃・月)	125.6 ± 0.0 ^{ab}	120.7 ± 14.8 ^{ab}	107.8 ± 25.7 ^{bc}	131.1 ± 26.0 ^a	77.7 ± 20.5 ^d	75.3 ± 0.2 ^d	83.8 ± 12.9 ^{cd}
標高 (m)	50.0 ± 0.0 ^{cde}	190.0 ± 55.4 ^{cde}	389.5 ± 287.1 ^{bcd}	112.1 ± 52.9 ^{ce}	391.7 ± 453.1 ^{bc}	696.7 ± 258.8 ^{ab}	916.7 ± 285.8 ^a
施工要因							
造成条件							
切土	4	14	8	8	4	5	6
盛土	0	0	9	4	2	1	0
表土の含有率 (%)	10.0 ± 0.0 ^a	18.6 ± 8.7 ^a	39.4 ± 42.4 ^a	25.0 ± 35.1 ^a	10.0 ± 0.0 ^a	10.2 ± 0.5 ^a	10.4 ± 0.9 ^a
表土の利用方法							
厚層基材吹付工	4	14	10	10	6	6	6
客土吹付工	0	0	0	2	0	0	0
表土吹付	0	0	1	0	0	0	0
撒き出し	0	0	1	0	0	0	0
張り付け	0	0	3	2	0	0	0
生育基盤の造成厚 (cm)	5.0 ± 0.0 ^a	4.3 ± 1.0 ^a	8.4 ± 10.6 ^a	4.5 ± 2.8 ^a	4.0 ± 2.0 ^a	3.4 ± 0.9 ^a	3.0 ± 0.0 ^a
のり面属性							
のり面方位							
北	2	3	1	3	2	1	2
北東・北西	0	4	2	0	3	1	4
東・西	0	0	5	3	1	0	0
南東・南西	0	3	6	2	0	2	0
南	2	4	3	4	0	2	0
勾配 (°)	40.0 ± 0.0 ^{ab}	38.8 ± 5.4 ^{ab}	39.3 ± 8.6 ^{ab}	44.9 ± 11.3 ^{ab}	38.0 ± 8.7 ^{ab}	52.0 ± 12.7 ^a	33.2 ± 11.4 ^b
のり長 (m)	13.0 ± 0.0 ^a	8.5 ± 2.1 ^{ab}	7.1 ± 2.3 ^b	7.0 ± 4.5 ^b	8.9 ± 1.5 ^{ab}	7.7 ± 5.2 ^{ab}	5.2 ± 0.5 ^b
植物群落の状況							
群落高 (cm)	131.8 ± 28.2 ^a	189.9 ± 39.0 ^a	181.9 ± 138.3 ^a	181.6 ± 143.9 ^a	226.6 ± 127.9 ^a	178.1 ± 216.5 ^a	310.5 ± 157.7 ^a
植被率 (%)	100.0 ± 0.0 ^a	83.7 ± 15.7 ^a	83.3 ± 23.3 ^a	68.4 ± 34.1 ^a	88.2 ± 16.1 ^a	57.8 ± 44.0 ^a	68.7 ± 31.2 ^a

A 群から G 群は二元指標種分析によって分割された植生の単位を表す。施工後月数, 平均年降水量, 年間の降雪の深さ合計, 暖かさの指数, 標高, 表土の含有率, 生育基盤の造成厚, 勾配, のり長, 群落高, 植被率は各群の平均の値 ± 標準偏差を表す。異なるアルファベットは各群の有意差を表す ($P < 0.05$)。有意差はホルムの方法による。土壌条件, 表土の利用方法, のり面方位は調査のり面の数を表す。

Each Group means the vegetation types divided on two-way indicator species analysis. Numbers of the passing months after greening, annual mean precipitation, depth of snow, Warm Index, altitude, % of the soil, thickness of the soil, slope, length along the road, vegetation height and cover rates, indicate means ± standard deviation per slope. Different letters indicate significant differences between sites ($P < 0.05$). Significant differences were obtained from Holm methods. Number of soil condition, methods of establishment and slope aspect means the number of study slopes.

ラ群落より有意に急であったが ($P < 0.05$), その他は概ね平均 40°であった。のり長は, メヒシバ群落が最も長く, ススキ群落およびアカメガシワ群落, フサザクラ群落より有意に長かったが ($P < 0.05$), その他は概ね平均 8 m であった。

群落高は各群落間に有意差はなかったが ($P > 0.05$), フサザクラ群落が平均 310 cm と最も高く, メヒシバ群落が最も低く, その他は概ね平均 200 cm であった。植被率は各群落間に有意差はなかったが ($P > 0.05$), メヒシバ群落が平均 100.0% と最も高く, タニウツギ群落, セイタカアワダチソウ群落, ススキ群落, フサザクラ群落の順に低くなり, ヤマハンノキ群落が平均 57.8% と最も低かった。

3.6 各群落の植被率と施工後月数

各群落の植被率の標準偏差が大きい理由として施工後月数に関係していることが考えられたので, 調査のり面 65 箇所の植被率と施工後月数との関係を図-4 に示した。メヒシバ群落の調査のり面は全て植被率が 100% あり, セイタカアワダチソウ群落の調査のり面も 50~100% と高かった。調査のり面数が最も多いススキ群落でも 70~100% が多かったが, 15% および 40% にもそれぞれ 1 箇所あった。アカメガシワ群落の植被率は調査のり面による差が 2 番目に大きく, 植被率の低い箇所は 30~40% にまとまっていた。タニウツギ群落の調査のり面は 60~100% と全体に高い傾向があった。ヤマハンノキ群落は調査のり面による差が最も大

きく、約 20% と約 100% に二分された。フサザクラ群落の植被率の標準偏差は 3 番目に大きく、1 箇所が約 10%、その他は 60~100% であった。

3.7 施工後月数と植物群および各植物種の被度

調査のり面の群落高 (cm) および植被率 (%), 木本の被度合計 (%), 草本の被度合計 (%) と施工後月数との関係を図-5 に示した。群落高と木本の被度合計は施工後月数の経過した調査のり面で値が大きい傾向があった。植被率は施工後月数が経過すると値の小さい調査のり面が減少し、草本の被度合計は施工後月数が経過すると値が小さい調査のり面が多くなる傾向があった。

図-4 群落別、施工後月数と植被率との関係

群落は二元指標種分析によって分割された植生の単位を表す。

Fig. 4 Relationship between passing months after greening and plant cover rate with different group.

Each group means the vegetation types based on two-way indicator species analysis.

図-5 施工後月数と群落高および植被率との関係

被度は各種の被度百分率の中央値を合計した。

Fig. 5 Relationship between passing months after greening and vegetation height and/or cover rate.

The data presented are amount of the mean cover rates per slope.

選定した 14 種の木本の各被度と施工後月数との関係を図-6 に示した。ヌルデやヤマハンノキ、タニウツギ、フサザクラ、ネムノキは被度の高い調査のり面では 50% 以上、アカメガシワやリョウブ、ヤマハギ、アカマツは被度の高い調査のり面では 20~40% であった。タラノキやヒサカキ、キブシ、バッコヤナギ、カラスザンショウの被度は高くても 10% に満たなかった。ヌルデは施工後 40~60 ヶ月で被度が最も高く、80~100 ヶ月で被度は最大となった。ヤマハンノキとタニウツギ、キブシは施工後月数が経過した箇所でも被度が高く、一方、カラスザンショウは施工後月数が小さい箇所でも被度が高かった。アカメガシワは施工後約 50 ヶ月で被度の高い箇所があったが、その後は 20% 程度であった。その他木本は、施工後月数が経過した箇所ほど被度が高かった。

指標種である 8 種の草本についても同様に、各被度と施工後月数との関係を図-7 に示した。セイタカアワダチソウやススキ、ヨモギ、メヒシバ、アキタブキは被度の高い調査のり面では 60~90% になったが、カラスノエンドウやヒメジョオン、ゲンノショウコは被度の高い調査のり面でも 20% に満たなかった。セイタカアワダチソウの被度は施工後 40~60 ヶ月で特に高かった。ススキの被度は施工後月数が

図-6 施工後月数と木本の被度との関係

被度は各種の被度百分率の中央値を合計した。

Fig. 6 Relationship between passing months after greening and cover rate of tree species.

The data presented are amount of the mean cover rates per slope.

図-7 施工後月数と草本の被度との関係

被度は各種の被度百分率の中央値を合計した。

Fig. 7 Relationship between passing months after greening and cover rate of herbaceous species.

The data presented are amount of the mean cover rates per slope.

経過した箇所で高かった。メヒシバの被度は施工後 12 ヶ月（施工当年）で高く、その他草本の被度は、施工後 70 ヶ月以降の箇所で低かった。

4. 考 察

4.1 森林表土利用工により成立する木本群落

森林表土利用工により緑化した本調査のり面では、施工後約 20 ヶ月までは植被率が 50% 未満と低い調査のり面が多いものの、施工後 96 ヶ月（8 年）までの経過に伴い、草本の被度は減少、木本の被度は増加し、群落高が高くなり（図-5）、調査のり面全体の傾向として、木本群落に移行することが確認された。本調査で平均被度が最も高かった木本はヌルデであり、その他にヤマハンノキやタニウツギ、アカメガシワ、ネムノキ、リョウブ、オノエヤナギ、フサザクラ、ヤマハギ、タラノキなどが高かった（表-2）。

本調査のり面で利用した表土の採取地はコナラ林やミズナラ林、アカマツ林が多く、その他にクリやクヌギ林、照葉樹林などの二次林が多かった（表-1）。落葉広葉樹二次林やアカマツ林では、本調査でも平均被度の高かったヌルデやアカメガシワ、ネムノキ、リョウブ、ヤマハギ、タラノキに加え、ヒサカキやカラスザンショウなどの埋土種子が多いことが広く確認されている^{13, 25, 33-35, 37}。また、本調査で 3 番目に木本の平均被度が高かったタニウツギは、ススキ草原⁵⁸や落葉広葉樹林³⁵、スギ人工林⁵²などに埋土種子として存在することが確認されており、明るい環境で高い発芽率を示す⁴⁸。8 番目に木本の平均被度が高かったフサザクラは、落葉広葉樹林や人工林で埋土種子として多く確認されている^{17, 28, 46}。

一方、本調査でヌルデの次に木本の平均被度が高かったヤ

マハンノキは、周囲に成木があっても埋土種子に存在しない⁵²。ヤマハンノキは谷地形ののり面には大量に種子が飛来し⁴¹、埋土種子はなくともヤナギ類とともにのり面で当年に定着する²⁷。周辺の森林との距離が近いほどのり面に散布される木本の種子の量は多く^{23, 41}、周辺の種子源は森林表土利用工においても植生の成立に重要な要因となる。

調査のり面では、埋土種子に含まれる木本種が生育し（表-2）、さらに、飛来種子に依存すると考えられる木本種の被度は施工後月数とともに増加した（図-6）。ただし、調査のり面の出現種（特にタニウツギやフサザクラなどの小型の風散布種子をもつ種）が、埋土種子由来か飛来種子由来かを明らかにすることはできず、本稿では、これまで埋土種子として多く確認されている種については埋土種子に由来すると仮定して議論した。

4.2 成立する植生の種類と関連要因

暖かさの指数を基準として調査のり面 65 箇所の植生は大きく二分され（表-3）、暖温帯ではセイタカアワダチソウやメヒシバ、冷温帯ではヤマハンノキやバッコヤナギが指標種であるように（図-2）、施工後月数や周辺環境の違いによって、埋土種子の種に加え、侵入・定着する各種により植生が分類された。暖温帯の表土採取地はアカマツ林やコナラ林が多く、冷温帯ではミズナラ林やブナ林など、成立する植生は表土の種類にも依存する。また、施工要因やのり面属性は、周辺環境や気候要因に比べると影響が小さいためか、全国的な植生の分類を目的とした本調査においては、要因として特定できなかった。

メヒシバ群落（A 群）の指標種であるメヒシバは、施工当年にのみ独占的に優占した（図-3, 7）。本種は埋土種子としても存在する 1 年生草本である。本種に限らず、施工当年に 1 年生草本が高い被度で優占する事例が確認されている^{24, 25}。人為的に裸地が形成された場所は他の植物による被圧がなく、1 年生草本が侵入・定着しやすい環境となる²⁹。過去の報告では、施工当年に 1 年生草本のハルタデ（*Persicaria maculosa* Gray subsp. *hirticaulis* (Danser) S. Ekman et T. Knutsson var. *pubescens* (Makino) Yonek.）が繁茂し、他種の生育が阻害された可能性が指摘されている¹¹。施工当年に 1 年生草本のオオイヌタデ（*Persicaria lapathifolia* (L.) Delarbre var. *lapathifolia*），2 年目以降にセイタカアワダチソウが優占し、4 年目には埋土種子から発生したと考えられる木本のほとんどの個体が枯死したのり面もある（久保、未発表）。このため、メヒシバは施工後に衰退することが予想されるが、遷移が進行するかについては 2 年目の植生の変化に注意する必要がある。

セイタカアワダチソウ群落（B 群）は、平均年降水量が少なく（表-3）、調査地（兵庫、広島、香川）の周辺環境に市街地や耕作地が多いのが特徴であった（表-1）。こうした環境では、森林表土に含まれていなくともセイタカアワダチソウなどの外来植物の種子が侵入しやすい環境であることが予想される²⁴。セイタカアワダチソウの種子は、森林表土に含まれていることが多いが、木本類の埋土種子数に

比べるとその数は非常に少ない²⁴⁻²⁶⁾。セイタカアワダチソウは発芽して2年目には地下茎により繁殖し、群落を形成する特性を持っている²⁾。耕作放棄地では4~6年目に特に優占していることが報告されており¹⁵⁾、本調査では施工後月数40~60ヶ月(約3~5年)の調査のり面で特に被度が高かった(図-7)。一方、本群落では木本のヌルデが平均約20%の被度を占めることから(図-3)、今後の植生の変化の速度は、ヌルデが生長してセイタカアワダチソウを被陰するかによると考えられる。

ススキ群落(C群)はススキの被度が高く、これまでのり面での生育が確認されている埋土種子由来の木本種が最も多く生育し(図-3)、暖温帯の4群落の中では気候要因が比較的冷温帯に近いことが特徴であった(表-3)。さらに、ススキ群落では草本の平均被度が58.0%、木本の被度が35.7%と両者の平均被度が高いのも特徴であった(図-3)。ススキは草原で埋土種子が確認されているが⁴⁰⁾、森林の表土で確認されることは少ない^{13, 24-26)}。ススキは地下茎を放射状に分岐させて分布を広げることから⁵⁹⁾、のり面においても施工後月数の経過により株を形成したと考えられる。調査のり面数が最も多かったススキ群落は、北は福島県の白河、南は鹿児島県の屋久島まで認められた。このため、調査のり面の気候要因の差は大きく(表-3)、調査のり面の施工後月数は20~90ヶ月、植被率は10~100%と調査のり面による差も大きかった(図-4)。ススキ群落の植生は、暖温帯の森林表土利用工により最も広く成立する植生と考えられる。

本調査地の表土の採取地は主に周辺の二次林であるが、ススキ群落では表土の採取地に人工林が含まれている(表-1)。これまで、森林表土に含まれる埋土種子に関して多く報告されてきたが、これは利用する森林表土の種類が本工法により成立する植生に重要な要因となるためである。ニセアカシア(*Robinia pseudoacacia* L.)に代表されるように、外来植物の種子が多く含まれた表土を利用した場合は、外来植物が優占する⁴³⁾。本調査地の八頭および世羅の2調査地では人工林の表土を利用していたが(表-1)、両調査地はススキ群落に分類された(図-2)。人工林でも二次林と同程度の埋土種子の種数および種子数を含み、それらは主に低木や草本であり、先駆樹種を多く含んでいることから^{3, 17, 20, 46, 52)}、緑化資材として十分な役割を果たすことが予想される。ただし、人工林の表土に含まれる埋土種子は母樹に依存するため、人工林に隣接する森林にもよることが指摘されており^{3, 17)}、採取地の周辺環境を考慮する必要がある。

アカメガシワ群落(D群)は、平均植被率が暖温帯の4群の中で最も低く(表-3)、特に草本の被度が低いのが特徴であった(図-3)。アカメガシワ群落はアカメガシワを指標種とし、リョウブとヒサカキの被度はススキ群落より高く、カラスザンショウも生育していた。カラスザンショウとアカメガシワの埋土種子の発生は相対照度の高い林縁付近で多く、さらにカラスザンショウの埋土種子はアカメガシワよりも明るい光環境で発生する⁴⁷⁾。アカメガシワ群落が成立している調査のり面は、施工後約20ヶ月までは植被率が40%

未満の箇所が多かったが、その後は1箇所を除いて60%以上となった(図-4)。これまでも、施工当年の植被率が40%未満と低くとも、多くの木本個体が生育している事例が報告されている^{11, 27, 32)}。また、外来牧草種を利用した厚層基材吹付工による緑化のり面は、導入種の被度が低いり面ほど、侵入した木本の密度が高い傾向が確認されている⁵¹⁾。先駆樹種の当年生実生の生残に草本層の被陰は大きな負の影響となる¹⁹⁾。さらに、埋土種子に多いがのり面で生育しないことが指摘されているリョウブやヒサカキも^{38, 39)}、アカメガシワ群落では被度が高かった。アカメガシワ群落では草本の被度が低いことで、これらの木本種は草本との競争を回避し、生残したものと考えられる。

タニウツギ群落(E群)はタニウツギの被度が高く(図-3)、降雪深が最も深いことが特徴として挙げられる(表-3)。タニウツギ群落の植被率は、調査のり面による差が小さく、施工後40ヶ月以上で60%以上あり(図-4)、平均群落高は310cmと最も高い(表-3)。このため、タニウツギ群落は比較的安定した木本群落を形成していると考えられる。積雪の多い地域では、雪圧により低木の木本類が匍匐形態をとり、萌芽により個体を維持することが知られているように⁴²⁾、本調査地においても、タニウツギやヤナギ類(本調査地では特にオノエヤナギ(*Salix udensis* Trautv. et C.A. Mey.)やイヌコリヤナギ(*Salix integra* Thunb.))がこうした環境に適応したことが予想される。タニウツギは降雪の多い地域において、木本群落を形成する重要な種になると考えられる。

ヤマハンノキ群落はヤマハンノキを主体とするが、木本の被度が約40%と低く(図-3)、平均勾配が52°と急であるのが特徴であった(表-3)。施工後20ヶ月未満では植被率が20%に満たない調査のり面も確認され(図-4)、種組成は木本を主体とするが、施工後初期の植被率が低い。ヤマハンノキやその他木本の被度が施工後月数の経過により増加することから(図-6)、定着している木本類の生長によって植被率が高くなることが予想される。しかし一方で、急勾配地における植生の発達の限界を反映している可能性もある。

フサザクラ群落はヤマハンノキとともにフサザクラの被度が高く(図-3)、タニウツギ群落およびヤマハンノキ群落より降雪深が浅いこと(表-3)、調査地が治山堰堤を含むことが特徴であった(表-1)。調査地の滝沢および富士河口湖は治山堰堤ののり面であることから、表層攪乱の多い溪畔域に多く生育するフサザクラ⁴⁵⁾が優占するのに適した環境と考えられる。本調査でフサザクラが出現する調査のり面は少なかったが、こうした環境では、フサザクラは森林表土利用工により群落を形成する重要な種と考えられる。

施工後初期の木本の被度は低く、のり面の施工後初期の植被率は主に草本に依存する。さらに、施工後初期の草本の被度は出現する種に依存する。メヒシバのような1年生草本が優占すると高い植被率を確保できるが、施工後初期の高い植被率は、埋土種子から発生した木本の生残に影響を与えることが予想される。さらに2年目から6年目に優占するセイタカアワダチソウのような種が群落を形成すると、木本類

は施工当年から常に草本に被陰され、枯死することが予想される。施工後初期に定着する草本種によって草本群落の継続年数は異なり（表-3）、その後の木本群落の形成に影響を与えるものと考えられる。一方で、草本の被度が比較的低いのり面では、植被率は低くとも多くの木本を含む場合もあり（図-3、4）、施工後月数の経過によって在来の木本からなる植生となることが期待される。

4. まとめ

森林表土利用工による緑化のり面の植生は、時間の経過に伴い、埋土種子および飛来種子に由来する木本の群落を形成することが確認された。冷温な地域では、施工後約6～7年でヤマハンノキやタニウツギ、フサザクラなどが優占する木本群落となっていた（表-3、図-3）。これらの調査地は自然公園に多く、周辺環境が落葉広葉樹林であることから（表-1）、周辺からの在来木本の飛来種子も多いことが予想される。指標種ヤマハンノキやタニウツギの被度が施工後月数の経過した箇所が高く（図-6）、時間の経過はこれらの木本群落の形成に重要な要因となる。施工後初期の植被率が低い箇所もあり、冷温な地域では植物の生長に時間がかかることが予想される。このため、本工法による冷温帯域における木本群落の成立に関しては、6～7年の期間を考慮した評価が求められる。

温暖な地域では施工後4年を経過すると、セイタカアワダチソウが優占する群落とススキを主体とする群落に二分された（表-3、図-3）。ススキ群落は、温暖な地域で最も広く成立する植生であり、多くの木本種を含むことから（図-3）、時間の経過により木本群落に移行することが期待される。埋土種子由来の木本としてのり面で多く確認されているヌルデやアカメガシワの被度は、施工後約3年以降に一定の被度を維持する傾向があった（図-6）。ヌルデは萌芽を発生させることから²²⁾、萌芽の拡大によってこの時期に急激に被度が高くなった可能性もある。このため、これらの種に関しては、一定の被度を確保できる時期が施工後3～5年になると考えられる。一方で、セイタカアワダチソウが優占した地域は降水量が少なく（表-3）、市街地や公園内に位置しており（表-1）、こうした地域では外来植物の飛来種子が多いことから²⁴⁾、本工法の利用には周辺環境を考慮する必要がある。

全国を網羅した本調査の結果では、森林表土利用工により成立する植生に対し、施工要因やのり面属性の影響は確認されず、気候要因が主要な影響として確認された。しかし、これまでの報告から明らかなように、のり面に成立する植生は方位により異なり^{4,53,60)}、また、森林表土の含有率が高い方が木本の発芽個体数は多く³⁹⁾、利用する植生基材によっても木本の発生や生長は異なる⁴⁹⁾。本調査では、出現回数が5回以上の同定された種を扱ったため、地域の特異的な種などは考慮されず、結果の精度が低く、不十分な点を多く含むことは否めない。施工要因やのり面属性と植生との関係については、各地域におけるさらなる調査により明らかにする必要がある。

本工法は施工後初期に高い植被率を確保することを目的とする緑化ではなく、時間の経過とともに在来の木本群落を形成する緑化である。侵食防止のために植被率の確保が必要であるが、植被率のみで本工法の結果を評価することはできない。植被率が低くとも木本を多く含む場合には近い将来に木本群落を構成する可能性は高く、一方で単一の草本種により植被率が高く、木本が定着していない場合などは、木本群落に変化するのにより長い時間を要する可能性がある。

本工法はのり面の安定の上に生物多様性の保全を目的とする緑化工法である。本結果で推察されたように、本工法は周辺環境を考慮して選択される必要があり、適した環境において生物多様性の保全を確保する緑化工法としての機能を発揮する。緑化技術の発展とともに、モニタリング調査からみえる植生と環境との関係から、緑化関係者の判断能力の向上により、より生物多様性を確保した緑化工法として広く利用されることが求められる。

謝辞：本研究を行うにあたり、国土交通省の関連事務所および施工に関係した多くの方のご協力をいただいた。調査地の選定や施工地の情報収集にあたり、日本植生株式会社の谷口伸二氏をはじめ、星澤保弘氏、柏木亨氏、中村剛氏、大貫真樹子氏、中村勝衛氏、大高公平氏にご協力いただいた。財団法人日本緑化センターの藤原大音氏には、近年の緑化施工に関する資料をご提供いただいた。調査地の選定にあたり、北海道開発局遠軽道路事務所、飯田国道事務所、国営ひたち海浜公園、国営越後丘陵公園、高山国道事務所、国営明石海峡公園、国営備北丘陵公園、国営讃岐まんのう公園、山梨県森林総合研究所、中日本高速道路株式会社、株式会社水戸グリーンサービス、日特建設株式会社、株式会社環境アセスメントセンターの諸氏にご協力いただいた。本研究をまとめるにあたり、国土技術政策総合研究所緑化生態研究室の諸氏にご協力いただいた。以上の方々に、心よりお礼申し上げます。なお、本研究の一部は、国土交通省国土技術政策総合研究所の平成20～22年度の業務である「地域生態系の保全に配慮した緑化手法及び管理手法の開発に関する調査検討業務」（株式会社建設環境研究所）により行われた。

引用文献

- 1) Braun-Blanquet, J. (1964) Pflanzensoziologie, 3 Auflage. Springer-Verlag, Wien, 865 pp.
- 2) 榎本敬・中川恭二郎 (1977) セイタカアワダチソウに関する生態学的研究 第1報 種子および地下茎からの生長, 雑草研究, 22(4): 202-208.
- 3) 花田尚子・渋谷正人・斎藤秀之・高橋邦秀 (2006) カラマツ人工林内における広葉樹の更新過程, 日本林学会誌, 88(1): 1-7.
- 4) 林敦子・久保満佐子 (2006) 林道切り土のり面の播種施工箇所における植生(木本類)成立要因, 林道, 43(8): 204-208.
- 5) 林一六 (1977) 埋土種子集団, 沼田真編, 群落の遷移とその機構, 朝倉書店, pp. 193-204.
- 6) Hill, M.O. (1979) TWINSPLAN—A FORTRAN program for

- arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. Ecology and Systematics, Cornell University. Ithaca, NY.
- 7) Hosogi, D. and Kameyama, A. (2004) Timing for the collection of topsoil from a deciduous forest for use as planting material in suburban Tokyo, Japan. Ecological Engineering, 23 (4-5): 371-386.
 - 8) Hosogi, D. and Kameyama, A. (2006) Timing for the planting method using deciduous forest topsoil in suburban Tokyo, Japan. Ecological Engineering, 26 (2): 123-131.
 - 9) 細木大輔・中村勝衛・亀山章 (2005) 切土のり面緑化における植生基材吹付工を応用した森林表土の利用, 日本緑化工学会誌, 30(3): 561-571.
 - 10) 細木大輔・松江正彦 (2010) 1年間保存した森林表土の緑化材料としての可能性, 日本緑化工学会誌, 35(3): 462-472.
 - 11) 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のり面の植生の推移, 日本緑化工学会誌, 25(3): 339-344.
 - 12) 細木大輔・米村惣太郎・亀山章 (2002) 森林表土を用いて緑化したのり面における初期の本木の生育, 日本緑化工学会誌, 28(1): 73-78.
 - 13) 細木大輔・米村惣太郎・亀山章 (2004) 関東の森林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(3): 412-422.
 - 14) 細木大輔・吉永智恵美・中村勝衛・亀山章 (2001) 森林表土を用いたのり面緑化で成立する植物群落の特性, 日本緑化工学会誌, 27(1): 114-119.
 - 15) Ikeda H. (2006) Does biodiversity in Japan protect new invasion? NIAES International Symposium 2006, 60-63.
 - 16) 入谷祐司 (2006) 外来生物法と郷土植物, 緑化植物流通の実態, 緑化工技術, 27: 25-40.
 - 17) 川西基博・崎尾均・米林伸 (2007) 実生出現法によるスギ植林地と広葉樹二次林の埋土種子集団の比較, 立正大学地球環境研究, 9: 31-41.
 - 18) 吉良竜夫 (1976) 生態学講座 2, 陸上生態系—概論—, 共立出版, 166 pp.
 - 19) 木佐貫博光・梶幹男・鈴木和夫 (1995) 秩父地方の山地溪畔林におけるシオジおよびサワグルミ実生の消長, 東京大学演習林報告, 93: 49-57.
 - 20) 木佐貫博光・巾高志・武田明正 (2002) 天然林と人工林における林床植生および埋土種子集団の種組成の比較, 中部森林研究, 50: 37-38.
 - 21) 小林達明・倉本宣 (2006) 生物多様性保全に配慮した緑化植物の取り扱い方法, 亀山章監, 生物多様性緑化ハンドブック, 地人書館, pp. 13-58.
 - 22) 小見山章 (1990) 落葉広葉樹林の皆伐初期における当年生稚樹の発生時期と死亡過程の関係, 岐阜大学農学部研究報告, 55: 279-291.
 - 23) 小向真人・福永健司 (2010) 緑化法面における散布種子と周辺植生との関係, 日本緑化工学会誌, 36(1): 103-106.
 - 24) 久保満佐子・細木大輔・松江正彦 (2010) 国営明石海峡公園における森林表土利用工による法面緑化の施工事例, 日本緑化工学会誌, 35(3): 473-478.
 - 25) 久保満佐子・細木大輔・松江正彦 (2010) 緑化材料として春と夏に採取した森林表土の撒き出し試験事例, 日本緑化工学会誌, 35(4): 532-536.
 - 26) 久保満佐子・細木大輔・松江正彦 (2010) 国営備北丘陵公園における森林表土利用工による法面緑化の施工事例, 日本緑化工学会誌, 35(4): 542-546.
 - 27) 久保満佐子・川西基博 (2007) 山梨県本栖湖岸の治山堰堤における森林表土を用いた緑化の施工事例, 植生学会誌, 24(1): 65-69.
 - 28) 久保満佐子・川西基博・島野光司・崎尾均・大野啓一 (2008) 秩父・大山沢溪畔林における埋土種子の種構成, 日本森林学会誌, 90(2): 121-124.
 - 29) 久保満佐子・小林隆人・北原正彦 (2011) 富士山麓・上ノ原草原における人為的管理が吸蜜植物の開花とチョウ類(成虫)の種組成に与える影響, 植生学会誌, 28(1): 49-62.
 - 30) McCune, B. and Mefford, M.J. (1999) PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data, Ver. 4. MjM Software Design, Oregon.
 - 31) 村中孝司 (2005) 外来種の侵入が在来種の生育や生物多様性に及ぼす影響について, 植生情報, 9: 79-87.
 - 32) 室伏幸一・朝倉俊治・尾崎俊彦・安藤辰夫 (2009) 道路盛土法面における森林表土を用いた緑化試験, 日本緑化工学会誌, 35(1): 134-137.
 - 33) Naka, K. and Yoda, K. (1984) Community dynamics of evergreen broadleaf forests in southwestern Japan. II. Species composition and density of seeds buried in the soil of a climax evergreen oak forest. Bot. Mag. Tokyo, 97: 61-79.
 - 34) Nakagoshi, N. (1984) Ecological studies on the buried viable seed population in soil of the forest communities in Miyajima Island, southwestern Japan II. Hikobia, 9: 109-122.
 - 35) 中越信和 (1984) 冷温帯林植物の初期個体群動態, 種生物学研究Ⅷ, 52-63.
 - 36) Nakagoshi, N. (1985) Buried viable seed population in the Abies firma forest in Miyajima Island, southwestern Japan. Hikobia, 9: 207-214.
 - 37) 中越信和・根平邦人・中根周歩 (1983) アカマツ林の山火跡地における植生回復Ⅳ, 初期段階の埋土種子, 広島大学総合科学部紀要Ⅳ, 8: 87-110.
 - 38) 中村剛・石坂知行 (2004) 表土シードバンクを利用した施工事例の報告, 日本緑化工学会誌, 30(1): 253-256.
 - 39) 中村剛・石坂知行・谷口伸二 (2004) 表土シードバンクを利用した施工事例の報告, 日本緑化工学会誌, 31(1): 107-110.
 - 40) 沼田真・林一六・小村登志子・大木薫 (1964) 遷移からみた埋土種子集団の解析Ⅰ, 日生態誌, 14(5): 207-215.
 - 41) 奥村武信・澤教子・藪下裕己・田中博 (2002) 飛来種子による樹林化のための生育基盤, 日本緑化工学会誌, 28(1): 67-72.
 - 42) 小野寺弘道 (2002) 雪山に生きる植物の生態, 梶本卓也・大丸裕武・杉田久志編, 雪山の生態学, 東北の山と森から, 港北出版印刷, pp.41-56.
 - 43) 大和田壘・佐々木祐司・岡村俊邦 (2011) 河川改修に伴うニセアカシア (*Robinia pseudacacia* L.) の分布拡大, 日本緑化工学会誌, 37(1): 135-138.
 - 44) R Development Core Team (2009) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
 - 45) Sakai, A. and Ohsawa, M. (1994) Topographical pattern of the forest vegetation on a river basin in a warm-temperate hilly region, central Japan. Eco. Res., 9: 269-280.
 - 46) Sakai, A., Sakai, T., Kuramoto S. and Sato, S. (2010) Soil seed banks in a mature Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* Endl.) plantation and initial process of secondary succes-

- sion after clearcutting in southwestern Japan. J. For. Res., 15: 316-327.
- 47) 志風伸幸・玉泉幸一郎 (2002) 伐採地におけるアカメガシワとカラスザンショウの発芽パターンの比較, 九州森林研究, 55: 138-139.
 - 48) 新庄久尚・西脇亜也・菅原和夫 (2004) 放牧地の侵入低木であるタニウツギ (*Weigela hortensis* K. Koch) の種子発芽特性, Grassland Science, 50(4): 369-371.
 - 49) 篠原明日香・小林達明・浅野義人 (2001) 切土軟岩のり面に出現する木本植物の実生発生条件に関する実験的研究, 日本緑化工学会誌, 27(1): 38-43.
 - 50) 社団法人日本道路協会 (2009) 道路土工一切土工・斜面安定工指針 (平成 21 年度版), 社団法人日本道路協会, 521 pp.
 - 51) 高橋由佳 (2006) 林道法面の緑化と管理—施工後数年を経過した法面への木本の侵入状況—, 林道, 417: 4-7.
 - 52) 高橋由佳・長谷川幹夫 (2009) 72 年生スギ人工林における埋土種子密度と種構成, 富山県農林水産総合技術センター森林研究所研究報告, 1: 23-31.
 - 53) 武田一夫・土谷富士夫・宗岡寿美・伊藤隆広 (2002) 寒冷少雪地域における道路法面の凍上害—凍結深さと凍上害に及ぼす法面方位の影響—, 日本緑化工学会誌, 28(1): 8-13.
 - 54) 田中淳・堀江直樹 (2008) 森林表土の効率的な採取技術と利用による自然回復緑化, 日本緑化工学会誌, 34(1): 172-174.
 - 55) 田中淳・山田守 (2005) 表土を利用した法面緑化事例とその問題点, 日本緑化工学会誌, 31(1): 99-102.
 - 56) 津村義彦・岩田洋 (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(4): 470-475.
 - 57) 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.
 - 58) Watanabe, N., Nishiwaki, A. and Sugawara, K. (2001) Seed banks in pastures: Special reference to a persistent soil seed bank of invading species *Carex albata* Boott. Grassland Science, 47(4): 337-343.
 - 59) 矢野悟道 (1965) 草原植物の地下器官について, 第 1 報 ススキ, 日本草地学会誌, 11(1): 48-54.
 - 60) 吉田幸信・内田純二・舌間貴宏・増田拓朗・橋本和明 (2002) 播種工によるのり面樹林化工法の追跡調査に基づく評価, 日本緑化工学会誌, 27(4): 617-622.

(2013. 1. 31 受理)