桜島における航空緑化施工地の約 10 年後の成立植生

近藤賢太郎¹⁾・内田泰三^{*2)}・田中 淳³⁾・佐藤亜貴夫³⁾

1) 九州産業大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering, Kyushu Sangyo University

2) 九州産業大学工学部 Faculty of Engineering, Kyushu Sangyo University

3) 国土防災技術株式会社 Japan Conservation Engineers Co., Ltd.

摘要: 本報では、桜島（八谷沢地区、西道川地区および松浦川地区）における航空緑化施工地の 9-13 年後の成立植生について、多変量解析を用いて標高・傾斜・方位・土壌深など環境要因との関係から考察した。その結果、対象地のすべてでススキイタドリ群落が成立し、植物材料として施工時に導入した外来牧草類は確認されなかった。また、同群落における木本類の定着には、傾斜ならびに土壌深、特に後者が影響していると考えられた。すなわち、傾斜が急で土壌深が浅い立地で木本類の出現頻度と成長は制約される。これに対して、傾斜が緩く土壌深が深くなるとその成長は高まる傾向にあり、土壌深がより深くなると木本類の出現頻度も高くなると考えられ、これらは既往の報告を支持するところでもあった。

キーワード: 航空緑化、外来種、成立植生

KONDO, Kentaro, UCHIDA, Taizo, TANAKA, Jun and SATO Akio: **Vegetation about 10 years after aerial seeding work in Sakurajima.**

Abstract: Surveys of the vegetation nine to thirteen years after aerial seeding works were performed on the hillside slopes in the three districts, Hattani-Sawa, Saido-Gawa and Matsuura-Gawa, in Sakurajima, southwestern Japan. Environmental variables considered likely to affect the vegetation were also investigated and analyzed with multivariate analysis, including altitude, inclination angle, direction and soil depth of the slopes. The results showed that *Miscanthus sinensis-Polygonum cuspidatum* community was dominant at all of the slopes, and exotic grasses (Poaceae) used as cover plans at aerial seeding works could not be observed for instance, *Festuca arundinacea* Schreb., *Cynodon dactylon* (L.) Pers. and *Eragrostis curvula* (Schr.) Nees. *Miscanthus sinensis-Polygonum cuspidatum* community has also some woody plants, and these species were affected by inclination angle and soil depth of the slopes, especially by the latter; their occurrence frequency and growth were increased as soil depth of the slopes became larger, and vice versa, which corresponded well with previous report.

Key words: aerial seeding work, exotic species, vegetation

1. はじめに

桜島では有史以降、天平宝字噴火(764)、文明噴火(1471)、安永噴火(1779)、大正噴火(1914)、昭和噴火(1946)等の大規模な噴火が発生している^{10, 13-14)}。これらの噴火には溶岩流の発生とそれによる植生破壊もみられたが、現在では植生遷移も進み、比較的経過年数の短い大正溶岩原および昭和溶岩原においても既にクロマツ(*Pinus thunbergii* Parl.)が優占している^{1, 27)}。しかし、今なお活発な噴火活動が続く桜島では、恒常的な降灰等によって、中腹から山頂にかけては植生遷移が進まず裸地化しており、降雨の際の表面侵食、リル・ガリー侵食、泥流および土石流の原因となっている^{5, 18-19, 26)}。よって、桜島では、これらの対策としてこれまでも航空緑化による表面保護が実施されてきた。

航空緑化は、広範囲の立地に対応でき、さらには施工地までの工事用道路を必要としないことから、上記の火山をはじめ山岳奥地での火災や土砂崩れ等の早期緑化対策として重要

な位置を占めてきた^{23, 25)}。しかし、航空緑化施工後の成立植生についての報告は少なく、また、前出の活火山に限れば山本ら(2006)³⁰⁾や小川ら(2011)²²⁾の雲仙普賢岳、宮下ら(2010)²⁰⁾の有珠山など極めて僅少である。これは、一般に、航空緑化が公的資金によって実施されるために調査結果として表に出にくいこと、また、山岳奥地など航空緑化施工地へのアプローチにおいて安全性の確保が難しいことなどが大きな障害になっているためといえる。

一方、本報で対象としている桜島では、航空緑化に加えて、泥流や土石流等による直接的な被害を防止・軽減するための施策として、多くの砂防堰堤が整備されてきており、また現在も整備が進められている。これらに伴う工事用道路も順次拡張され、かつてはアプローチすら困難であった航空緑化施工地においても調査可能な場所がみうけられるようになってきた。そこで筆者らは、工事用道路の拡張によってアプローチ可能となった航空緑化施工地を対象に、施工後の成立植生について調査を行った。本報では、航空緑化施工地の 9-13

* 連絡先著者 (Corresponding author) : 〒813-8503 福岡県福岡市東区松香台 2-3-1 E-mail : uchida@ip.kyusan-u.ac.jp

表-1 桜島における航空緑化の主な配合

Table 1 Outline of the ingredients for aerial seeding work employed in Sakurajima

学名		本施工 ¹⁾ (kg/ha)	追肥 ²⁾ (kg/ha)	追播 ³⁾ (kg/ha)
〈基本材料〉				
裁断新聞紙	————	800	400	—
高分子エマルジョン	————	1200	600	—
土壌改良材	————	2500	—	—
分散剤	————	40	40	—
着色剤	————	40	40	—
〈植物材料〉				
〔外来牧草類〕				
オニウシノケグサ	<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	110	—	—
ギョウギシバ	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	28	—	—
シナダレスズメガヤ	<i>Eragrostis curvula</i> (Schrud.) Nees	11	—	—
ハイウシノケグサ	<i>Festuca rubra</i> L. var. <i>genuina</i> Hack.	2	—	—
〔在来草本類〕				
イタドリ	<i>Polygonum cuspidatum</i> Sieb. et Zucc.	66	—	—
ススキ	<i>Miscanthus sinensis</i> Andersson	24	—	—
〔在来木本類〕				
シャリンバイ	<i>Rhaphiolepis indica</i> (L.) Lindl. ex Ker var. <i>umbellata</i> (Thunb.) H. Ohashi	64	—	—
ヤマハギ	<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.	7	—	—
ヒサカキ	<i>Eurya japonica</i> Thunb.	6	—	—
ネズミモチ	<i>Ligustrum japonicum</i> Thunb.	6	—	—
ヤシャブシ	<i>Alnus firma</i> Siebold et Zucc.	5	—	—
クロマツ	<i>Pinus thunbergii</i> Parl.	1	—	—
〈肥料〉				
高度化成肥料 ⁴⁾	————	700	700	—
緩効性肥料 ⁵⁾	————	600	600	—
緩効性肥料 ⁶⁾	————	500	500	—

¹⁾ 地区や山腹斜面によって施工年（2001-2005年）は異なる ²⁾ 地区や山腹斜面によって施工回数（1-2回）は異なる ³⁾ 全ての地区および山腹斜面で実施無し

⁴⁾ N, P, K=15% ⁵⁾ N, P, K=16%, 5%, 10% ⁶⁾ N, P, K, Ca=10%

年後の成立植生について得られた知見を報告する。また、施工地を取巻く環境要因が成立植生に及ぼす影響についても 2, 3 の考察を加えた。

2. 方法

2.1 調査地概要

桜島（八谷沢地区、西道川地区および松浦川地区）の航空緑化施工後 9-13 年が経過した山腹斜面を調査対象とした。本地区の航空緑化には、湿式（スラリー式）が用いられており、裁断新聞紙、高分子エマルジョンといった侵食防止材に、土壌改良材、分散材および着色剤を加えたものを基本材料としている（表-1）⁶⁾。植物材料には、オニウシノケグサ（*Festuca arundinacea* Schreb.）、ギョウギシバ（*Cynodon dactylon* (L.) Pers.）、シナダレスズメガヤ（*Eragrostis curvula* (Schrud.) Nees）およびハイウシノケグサ（*Festuca rubra* L. var. *genuina* Hack.）の外来牧草類に加えて、イタドリ（*Polygonum cuspidatum* Sieb. et Zucc.）、ススキ（*Miscanthus sinensis* Andersson）、シャリンバイ（*Rhaphiolepis indica* (L.) Lindl. ex Ker var. *umbellata* (Thunb.) H. Ohashi）およびクロマツ等の在来草本本類が使

用されている。追肥は、地区や山腹斜面によって実施回数が異なっており、本施工から概ね 1 年ごとに計 1-2 回行われている。また、追播はいずれの地区でも行われていない。

2.2 植生ならびに環境要因

2014 年 9 月中旬、上記の山腹斜面から任意に 17 地点を抽出した。各地点に 400 m² の調査枠（20×20 m の方形枠を基本としたが、地形等による制約が生じた場合には縦横比を適宜調整した）を 1 つ設置し、調査枠内における樹高 2 m 以上の木本類を対象に被度、樹高および胸高直径を記録した。さらに、調査枠内に 2×2 m のサブコドラートを 3 つ設置し、同コドラートに含まれる種の被度を調査した。木本類については、樹高および直径（樹高の 1/2 高さ）も併せて記録した。環境変量には、各地点の施工後年数、追肥回数、標高、傾斜、方位および土壌深を採用した。

被度は、Braun-Blanquet の被度階級で記録後、各階級の中央値を被度（%）に換算した。方位は、坂本・内田（2005）²⁴⁾ に準じて日照量を反映した 4 段階で評価した。土壌深については、農研式検土杖（大起理化学工業株式会社製 DIK-1641）を用いて測定した。

2.3 解析

調査枠内で確認された樹高 2 m 以上の木本類については、その頻度および平均被度が極めて小さかった。よって、本報における植生の解析には、サブコドラートで得られたデータを採用し、以下に供した。

各地点における出現種の平均被度に基づき二元指標種分析 (TWINSPAN) による類型化と除歪対応分析 (DCA) による序列化を行った。後者で得られたスタンドスコアと環境変量との関係は、Kendall の順位相関分析によって解析した。TWINSPAN および DCA には PC-ORD Ver. 4.25 (MjM Software Design), Kendall の順位相関分析には SPSS Ver. 19.0.0 (IBM) を使用した。

3. 結果

3.1 TWINSPAN による植生の類型化

TWINSPAN において、レベル 1 ではシャリンバイを指標種として分類された (図-1)。続くレベル 2 では、ツワブキ (*Farfugium japonicum* (L.) Kitam.) を指標種に分類され、対象地は大きく 3 つの植生型 (A, B および C) に類型化された。

A 型では、草本類のススキが優占し、イタドリも高い頻度で確認された (表-2)。木本類についても多くの種がみられ、ヒサカキ (*Eurya japonica* Thunb.), ヤシャブシ (*Alnus firma* Siebold et Zucc.) およびノリウツギ (*Hydrangea paniculata* Siebold) でその頻度は高かった。これらの樹高ならびに直径は、それぞれ 28.5-77.0 cm, 2.5-5.0 mm であっ

た (図-2)。また、シダ類のホラシノブ (*Sphenomeris chinensis* (L.) Maxon) やイヌシダ (*Dennstaedtia hirsuta* (Sw.) Mett.) が高い頻度で着生するのも特徴的であった (表-2)。B 型および C 型においても、上述の A 型と同様に、ス

図-1 TWINSPAN による植生の類型化
解析には被度 (%), カットレベルには 0, 20, 40, 60 および 80 を使用した

Fig. 1 Classification of vegetation by TWINSPAN, based on their species components (coverage data, %) Cut levels of 0, 20, 40, 60 and 80 were applied in the analysis

表-2 植生型と構成種の常在度

Table 2 Species composition in each vegetation type classified by TWINSPAN

		植生型 ¹⁾		
和名	学名	A (<i>n</i> =9)	B (<i>n</i> =6)	C (<i>n</i> =2)
〈在来草本類〉				
ススキ	<i>Miscanthus sinensis</i> Andersson	V +5	V 4-5	V 4-5
イタドリ	<i>Polygonum cuspidatum</i> Sieb. et Zucc.	V +1	V +2	V 1-3
ツワブキ	<i>Farfugium japonicum</i> (L.) Kitam.	I +		V +1
ヤマアワ	<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth	I +		
〈在来木本類〉				
シャリンバイ	<i>Rhaphiolepis indica</i> (L.) Lindl. ex Ker var. <i>umbellata</i> (Thunb.) H. Ohashi		V +4	V +
ヒサカキ	<i>Eurya japonica</i> Thunb.	III +1	V +2	V 1-3
ヤシャブシ	<i>Alnus firma</i> Siebold et Zucc.	III +1	I +	V +2
ノリウツギ	<i>Hydrangea paniculata</i> Siebold	III +1		
クロマツ	<i>Pinus thunbergii</i> Parl.	II +1	II +1	V +1
ネズミモチ	<i>Ligustrum japonicum</i> Thunb.		II +	III +
ヤマツツジ	<i>Rhododendron obtusum</i> (Lindl.) Planchon var. <i>kaempferi</i> (Planchon) Wilson			III +
ムベ	<i>Stauntonia hexaphylla</i> (Thunb.) Decne.	II +	I +	
コアカソ	<i>Boehmeria spicata</i> (Thunb.) Thunb.	II +		
シロモジ	<i>Lindera triloba</i> (Siebold et Zucc.) Blume	I +		
〈在来シダ類〉				
ホラシノブ	<i>Sphenomeris chinensis</i> (L.) Maxon	IV +4	I +	
イヌシダ	<i>Dennstaedtia hirsuta</i> (Sw.) Mett.	IV +2	V +	III +
イヌワラビ	<i>Athyrium niponicum</i> (Mett.) Hance	I +		

¹⁾ 図-1参照

図-2 高い頻度（III 以上）でみられた木本類の樹高と直径

図中のエラーバーは上限の 90% 値ならびに下限の 10% 値を示す

Fig. 2 Height and diameter of woody plants which was observed frequently (III, IV and V in Table 2), in each vegetation type

The whiskers were drawn down to the 10th percentile and up to the 90th

スキが優占し、イタドリが高い頻度でみられた（表-2）。木本類についても A 型と同様に多くの種が確認された。しかし、B 型ではシヤリンバイおよびヒサカキで頻度が高いのに対して、C 型では出現したすべての種で頻度が高かった。これらの樹高ならびに直径は、A 型と比較して大きく、B 型ではそれぞれ 65.0-150.0 cm, 7.8-26.1 mm, C 型ではそれぞれ 43.8-182.5 cm, 5.3-37.8 mm に達した（図-2）。

なお、A 型、B 型および C 型のすべての植生型において、植物材料として導入された外来牧草類は確認できなかった（表-2）。

3.2 DCA による植生の序列化

上記の植生型を DCA によって 2 軸から序列化した（図-3）。なお、本解析における寄与率（after-the-fact coefficient of determination）は第 2 軸までで 0.818 に達した。第 1 軸に対して、軸の右側に A 型および C 型が、軸の左側に B 型が位置した。第 2 軸に対しては、軸の上側から概ね A 型、B 型、C 型の順に位置した。

一方、スタンドスコアと環境変量の相関関係を表-3 に示した。第 1 軸は施工後年数、追肥回数、標高、方位および土壌深と相関は低く、傾斜と高い正の相関が認められた。また、第 2 軸は、施工後年数、追肥回数、標高、傾斜および方位と相関は低く、土壌深に対して高い負の相関が認められた。こ

図-3 DCA による植生型¹⁾の序列化

○: A 型, ●: B 型, □: C 型

¹⁾ 図-1 および表-2 参照

Fig. 3 Ordination of vegetation types classified by TWINSpan, using DCA

○: Type A, ●: Type B and □: Type C

See Fig. 1 and Table 2

表-3 DCA のスタンドスコアと環境変量の相関

Table 3 Correlations between DCA scores and environmental variables

	1軸	2軸
施工後年数	0.164	-0.068
追肥回数	0.107	0.225
標高	-0.075	0.256
傾斜	0.547**	0.307
方位	0.170	-0.357
土壌深	-0.247	-0.427*

表中の数値はKendallの順位相関係数を示す

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

図-3参照

れは、図の右側ほど傾斜は急になり、図の下側ほど土壌深が深くなることを示す。

4. 考察

4.1 成立植生と環境要因

本研究では、桜島における航空緑化施工地の9-13年後の成立植生について調査を行った。その結果、対象地のすべてでススキが優占し、イタドリが高い頻度でみられた（以下、ススキ-イタドリ群落）（表-2）。また、同群落は、大きくA型、B型、C型の3つの植生型に類型化されるが（図-1および表-2）、生育する木本類の特徴から、次のように解釈された。A型は、高い頻度でみられる木本類は少なくその成長量も低い「少種数低成長タイプ」、逆にB型は、高い頻度でみられる木本類は少ないがその成長量が高い「少種数高成長タイプ」として位置づけられると考えられた（表-2および図-2）。これらに対して、C型は、高い頻度でみられる木本類は多くその成長量も高い「多種数高成長タイプ」として位置付けられると考えられた。

一方、これらの植生タイプは、傾斜と高い正の相関にあるDCA第1軸に対して、右側に「少種数低成長タイプ」および「多種数高成長タイプ」が、左側には「少種数高成長タイプ」が位置した（図-3および表-3）。よって、「少種数低成長タイプ」および「多種数高成長タイプ」は、「少種数高成長タイプ」よりも急傾斜にあるものと判断された。また、土壌深と高い負の相関にあるDCA第2軸に対しては、軸の上側から概ね「少種数低成長タイプ」、「少種数高成長タイプ」および「多種数高成長タイプ」の順に位置し、「少種数低成長タイプ」で土壌深が最も浅く、「多種数高成長タイプ」で土壌深が最も深いものと判断された。

以上、桜島において、航空緑化施工後9-13年が経過した山腹斜面ではススキ-イタドリ群落が成立する。また、同群落における木本類の定着には、傾斜ならびに土壌深、特に後者が大きく影響すると考えられた。すなわち、傾斜が急で土壌深が浅い立地で木本類の出現頻度と成長は制約される。これに対して、傾斜が緩く土壌深が深くなると成長は高まる傾向

にあり、また、例え傾斜が急であっても、土壌深がより深くなる立地では木本類の出現頻度も高くなると考えられた。これは、木本類の成長には傾斜と土壌深がつよく影響し、傾斜が急なほど、また土壌深が浅いほど成長量は制約されるといった既往の報告をよく支持するところである^{11, 16-17, 29)}。

なお、活火山における緑化施工後の植生は一般にススキ型に移行することが多く^{20-22, 30)}、本対象地に成立するススキ-イタドリ群落もこれに一致する。降灰の影響をつよく受けるこのような立地では、ススキの有する貧栄養耐性・好酸性²⁾が大きく関係しているのであろう。

他方、桜島の大正および昭和溶岩原では、ススキ-イタドリ群落を経て、現在はクロマツが優占している^{1, 27)}。土壌深が最も深い「多種数高成長タイプ」においても、既にクロマツの出現頻度とその成長量は高く（表-2および図-2）、今後は上記溶岩原と同様に、クロマツが優占する林へと遷移していく可能性があると考えられた。また、「少種数高成長タイプ」が成立する立地では傾斜が最も緩く（図-3）、リターの供給等とおして土壌がさらに堆積していく可能性も示唆され、ひいては「多種数高成長タイプ」、さらにはクロマツが優占する林へと遷移していくものと考えられた。これらに対して、「少種数低成長タイプ」が成立し、高頻度でホラシノブやイヌシダの着生もみられるような傾斜が急で土壌深も浅い立地では（表-2および図-3）、今後もリターをはじめ土壌の堆積は難しいといえる。よって、このような立地で確認される木本類についてもその後の成長に大きな期待はできず、現植生のススキ-イタドリ群落が継続するものとする。

以上に示す航空緑化施工後の成立植生とその環境要因、さらには推察される今後の植生遷移を踏えると、桜島の航空緑化にあたっては次のような方向性が考えられる。傾斜が緩いなど土壌の堆積が期待できる立地では、例えば、クロマツなど木本類の種子配合を積極的に増やしていくことで、対象地の樹林化も促していくことができると考えられる。これに対して、傾斜が急で土壌の堆積が困難と判断とされる立地では、樹林化を期待するのではなくむしろススキを主体とした植生を緑化目標として捉えていく考え方もできよう。実際、本対象地に成立するススキ-イタドリ群落において、侵食の顕著な発生はなく追播も行われていない⁹⁾。このようにススキを主体とした植生を緑化目標とする場合、種子配合の段階から木本類の導入を控えていくことも費用対効果の側面からは有効かもしれない。

4.2 桜島における外来牧草類の衰退

本報では、傾斜や土壌深など、施工地を取巻くいくつかの環境要因と成立植生の関係について検討してきた。その他、周辺植生と成立植生、また、植物材料と成立植生との関係についても今後検討すべき課題が残される。しかし、緑化工で導入された外来牧草類の衰退や消滅の時期を示す報告が亀山（1981および1983）⁷⁻⁸⁾や星子（1996）³⁾に限られるなか、施工後9-13年が経過した山腹斜面ではススキ-イタドリ群

落が形成され、外来牧草類はみられないことを1つの事象として確認できた意義は大きい(表-2)。本地域の多くは、自然公園法で定められる特別保護区に指定されており⁹⁾、桜島における外来種利用と生物多様性保全の両立を考えるうえで、上記事象は極めて有用な知見になると考えられた。

外来牧草類の衰退や消滅に要する年月は、それ自体の侵略性や緑化方式(吹付厚や施肥量など)に加えて、地域や立地の有する特異性(気候や微気象、また、本論のような活火山であれば降灰や噴気の程度など)とその被侵略性によって大きく異なり^{3-4, 7-8, 12, 15, 21, 28, 31-32)}、一般化することは極めて難しく、まずは上述したようなケーススタディの蓄積が急がれよう。

謝辞: 本調査の遂行にあたり林野庁九州森林管理局鹿児島森林管理署の皆様にご多大なるご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- 服部 保・南山典子・岩切康二・栃本大介 (2012) 照葉樹林帯の植生一次遷移—特に桜島の溶岩原について—。植生学会誌, 29(2): 75-90.
- 堀江秀樹・根本正之 (1990) 雑草群落の生理・生態的特性とその成立可能な立地条件。3. ススキの養分吸収特性。雑草研究講演会講演要旨, 29: 149-150.
- 星子 隆 (1996) 厚層基材吹付工による切土のり面の植生遷移に関する研究。高速道路と自動車, 39(8): 21-27.
- 星子 隆 (1999) 高速道路のり面における木本植物の侵入と種子散布様式に関する研究。日本緑化工学会誌, 25(2): 102-114.
- 地頭菌 隆・下川悦郎・寺本行芳 (1997) 桜島における土石流河川の流出特性。鹿児島大学農学部演習林研究報告, 25: 9-20.
- 鹿児島森林管理署・財団法人林業土木コンサルタンツ (2006) 桜島地区治山事業報告書。246 pp.
- 亀山 章 (1981) 高速道路のり面の植生遷移について (V) —九州縦貫自動車道のり面植生の遷移—。信州大学農学部紀要, 18(2): 155-170.
- 亀山 章 (1983) 高速道路のり面の植生遷移に関する研究。造園雑誌, 47(1): 52-55.
- 環境省。“霧島錦江湾国立公園”。環境省ホームページ。http://www.env.go.jp/park/kirishima/index.html(参照: 2016年3月7日)。
- 気象庁。“全国活火山の活動履歴等”。気象庁ホームページ。http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/fukuoka/506_Sakurajima/506_index.html(参照: 2016年3月7日)。
- 小橋澄治・村井 宏・亀山 章編 (1992) 環境緑化工学。朝倉書店, 188 pp.
- 小林達明・倉本 宣編 (2006) 生物多様性緑化ハンドブック。地人書館, 323 pp.
- 小林哲夫・佐々木寿 (2014) 桜島火山。地質学雑誌, 120: 63-78.
- 小林哲夫・溜池俊彦 (2002) 桜島火山の噴火史と火山災害の歴史。第四紀研究, 41(4): 269-278.
- Kondo, K., Uchida, T., Hayasaka, D., Tanaka, J., Sato, A. and Arase, T. (2016) Vegetation succession on cut slopes covered with exotic grasses for erosion control, Mt. Sakurajima. International Journal of GEOMATE, 11(23): 2136-2142.
- 興水 肇 (1979) 「人工地盤における緑地植物の植栽に関する研究」について。造園雑誌, 42(3): 22-25.
- 興水 肇 (1985) 建築空間の緑化手法。彰国社, 118 pp.
- 工藤史帆・河原 愛・菊池裕介・荒川竜太・田中 淳・佐藤亜貴夫・江沢辰広 (2013) 桜島降灰地における植生発達段階とアーバスキュラー菌根菌群集の攪乱耐性。日本土壤肥料学会講演要旨集, 59: 37.
- 九州森林管理局鹿児島森林管理署 (2002) 桜島地区民有林直轄治山事業における航空実播工試験施工について。治山, 47(9): 10-13.
- 宮下進治・山田満一 (2010) 有珠山南斜面の植生被覆とその遷移—1977年噴火対策としての航空実播工—。フォレストコンサル, 122: 8-14.
- 中野祐司・二見肇彦 (2004) 見取り調査による三宅島切土法面緑化の植生遷移。日本緑化工学会誌, 30(2): 383-388.
- 小川泰浩・明間民央・大丸裕武 (2011) 雲仙普賢岳火砕流堆積斜面における緑化植物の植生調査と降雨時の表面流観測。砂防学会誌, 63(5): 78-82.
- 大澤 学・田中 淳・田中賢治・田畑三郎・竹村 文 (2012) 国有林における航空緑化工の施工実績調査報告。日本緑化工学会誌, 38(1): 156-159.
- 坂本なつ子・内田泰三 (2005) 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。日本緑化工学会誌, 30(4): 649-656.
- 田中 淳・竹村 文・田中賢治・大澤 学 (2014) 国有林内で実施した航空緑化工の林地回復に立地条件が与える影響。日本緑化工学会誌, 40(1): 179-182.
- 寺本行芳・下川悦郎・地頭菌 隆・福納直樹 (2004) 桜島における緑化植生が雨水および土砂流出に及ぼす影響。鹿児島大学農学部演習林研究報告, 31: 15-20.
- 宇都誠一郎・鈴木英治 (2002) 桜島の昭和溶岩と大正溶岩における86年間の植生遷移—基質と種子供給源からの距離の影響—。日本生態学会誌, 52(1): 11-24.
- 山辺正司・田嶋佳枝・星子 隆 (1996) 厚層吹付工のり面における侵入植物に関する研究。日本道路公団試験研究所報告, 33: 164-170.
- 山寺喜成 (1990) 急勾配斜面における緑化工技術の改善に関する実験的研究。全国特定法面保護協会, 347 pp.
- 山本一夫・丸本卓哉・岡部宏秋・市村正彦・新見芳則・尾崎 新・大久保 剛・植木寿朗・関山真一・立脇真悟 (2006) 雲仙普賢岳水無川本流の乾式航空緑化工における施工10年後の土壌の肥沃度及び植生定着。日本緑化工学会誌, 32(1): 195-198.
- 吉田 寛 (2003) 植生基材吹付工の植生遷移特性に関する研究。日本緑化工学会誌, 29(2): 331-342.
- 吉田 寛・菊池富夫 (1993) 厚層基材吹付工の経年変化に関する調査報告—施工後17年間の推移—。日本緑化工学会誌, 18(4): 219-226.

(2016年6月30日受理)