論 文

海岸林学会誌（*Journal of the Japanese Society of Castal Forest*）7 (1)：7−12, 2007

吹上砂丘地におけるクロマツ枯損後の飛砂と植生回復過程

寺本行芳[1]・下川悦郎[1]

Blown sand and the revegetation process following severe damage to Japanese black pines in the Fukiage sand dune, Kagoshima

Yukiyoshi Teramoto[1] and Etsuro Shimokawa[1]

Abstract: We investigated blown sand and the revegetation process following severe damage to Japanese black pines caused by pine wilt disease in the Fukiage sand dune. We found that blown sand following severe damage tended to increase with increasing damage to Japanese black pine from pine wilt disease. Moreover, numbers of trees, tree species, total volume of tree trunks, Fisher-Williams' index of diversity and the void ratio of surface soil tended to decrease with increasing amounts of blown sand. Thus the difference of the revegetation condition affects greatly on the spatial distribution of the volume of blown sand.

1 はじめに

鹿児島県薩摩半島の西海岸に位置する吹上砂丘地においては，1980 年代後半から 1990 年代前半にかけてクロマツ林はマツ材線虫病によって大きな被害を受けた．クロマツの枯損量は 1991 年以降急激に増加し，1994 年に最大となった．その後枯損量は経年的に減少した（熊本営林局，1996）．最前線および上層を占めるクロマツが枯損すると中・下層の植生は強風や乾燥に曝されることになり，海岸植生の破壊は一気に進行した．植生の衰退によって飛砂，飛塩による農作物の被害が発生している．

本論では，マツ枯損後吹上砂丘地の海岸植生の破壊が飛砂に及ぼす影響，また，マツ枯損後の海岸植生の回復過程について検討することを目的としている．本研究に関連した砂丘地における飛砂の空間的分布については，前砂丘から内陸側への飛砂量の減少過程を明らかにした研究（鈴木，1981；塚本ら，2001；萩野，2007）が挙げられる程度である．また，海岸植生の構造および遷移については，海岸植生の樹種構成および耐塩性を明らかにした研究（倉内，1956），汀線から内陸側への樹種構成と植生遷移を明らかにした研究（只木，1992）などが挙げられる．

2 調査地と方法

2.1 調査地の概要

調査地は，万之瀬川河口以北および伊作川河口以北における吹上砂丘地の保安林内に位置する（図 1）．調査地における海岸植生の林帯幅は300〜500m程度である．調査地の大部分は飛砂防備林，潮害防備林，健康保安林，レクリエーションの森および風致保安林などに指定されている．吹上砂丘地の国有林におけるマツ材線虫病によるクロマツの枯損量は，1981 年および 1984 年にそれぞれ 6,200m^3，8,200m^3 を記録したが，その後は2,000〜3,000m^{3}程度で推移した．1991 年以降クロマツの枯損量は急激に増加し，1994 年にはこれまでの最大値 14,000m^3 を記録した．1995 年以降クロマツの枯損量は経年的に減少している（熊本営林局，1996）．

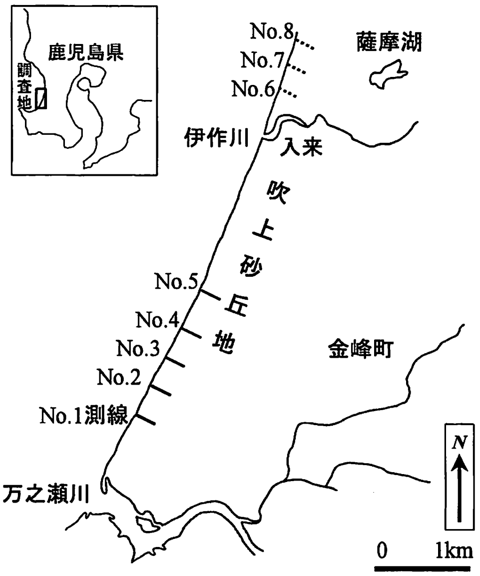

図 1：調査地

万之瀬川河口以北の海岸植生は，1980 年代後半から 1994年にかけてマツ材線虫病と風害による被害を受けて大きく衰退したが，1995 年以降は徐々に回復に向かっている（写真 1）．一方，伊作川河口以北の海岸植生は，マツ材線虫病による被害を受け始めた 1980年代後半から現在まで薬剤散布や樹幹への薬剤注入などの維持管理が行われているため被害をほとんど受けていない（写真 2）．

2.2 方法

クロマツ枯損後の 1995年以降に生じた飛砂量の空間

[1] 鹿児島大学農学部，Faculty of Agriculture, Kagoshima University, 1-21-24 korimoto, Kagoshima, 890-0065 Japan

的分布と，枯損後における海岸植生の回復過程を明らかにするため，枯損被害が大きかった万之瀬川河口以北（以下被害区という）と，その対照地として被害をほとんど受けていない伊作川河口以北（以下健全区という）に調査測線を設定した．被害区では前砂丘頂部から汀線に直角方向で内陸側へ向かって延長 330mの測線を 5 測線（No.1～5），健全区では前砂丘頂部から延長300mの測線を3測線（No.6～8）それぞれ設定し（図 1），各測線において 30～60m間隔で飛砂量調査および植生調査を行った．調査はクロマツ枯損後約 10 年が経過した 2005 年から 2006 年にかけて実施した．

写真 1：万之瀬川河口以北の海岸植生の状況

写真 2：伊作川河口以北の海岸植生の状況

飛砂量は，クロマツ枯損後の 1995 年以降に侵入した樹齢約10年のクロマツ林内に形成された落葉層をブロック状（写真 3）で採取した後炉乾燥させ，落葉層中に含まれる全砂粒子を分離し，その重量を測定した．したがって，この場合の飛砂量は約 10 年間の積算値である．なお，今回測定した飛砂量は海岸植生の林帯上に到達した後落下した量で，樹冠に捕捉された量は考慮していない．

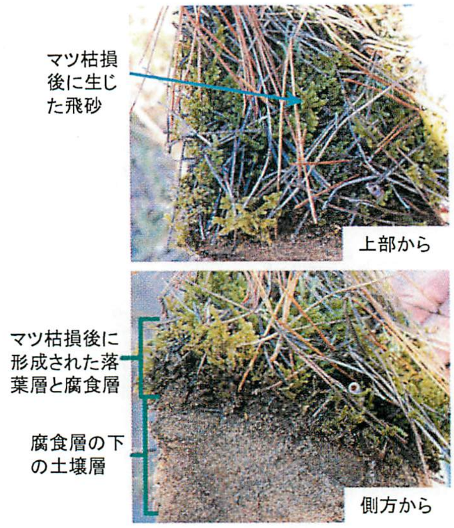

写真 3：飛砂量調査

植生調査は，10m×10mのプロットを設け，プロット内に出現するすべての木本植生を対象に樹種の同定，胸高直径および樹高の測定を行った．樹高 1 m以上を中・上層，樹高 1m未満を下層・林床とした．樹高の小さな個体については地際直径を測定した．また，被害区のNo.1 測線と健全区のNo.6 測線については円盤あるいは成長錐による木片を採取し樹齢を計測した．胸高直径および樹高の測定値より立木幹材積表（林野庁計画課，1970）を用いてプロットの蓄積量（幹材積）を求めた．さらに，プロットにおける木本植生の遷移度を検討するため，多様度指数のひとつであるFisher-Williams の多様度指数 α を求めた．多様度指数 α と個体数Nおよび種数S の関係式は $S = \alpha \log_e(1+N/\alpha)$ である（田川，1973）．

また，植生回復状況の違いが表層の乾燥密度に及ぼす影響を明らかにするため，植生調査プロット内において表層の不攪乱試料を採取し乾燥密度の測定を行った．不攪乱試料は，直径 55mm×高さ 60mm の鋼製円筒を人力で静的に地中に押し込んで採取した．試料はプロット内の異なる場所において 4 箇所採取し，その平均値を乾燥密度の値とした．

さらに，被害区のNo.1～5 測線周辺における海岸植生分布の経年変化を明らかにするため，クロマツ枯損被害が発生し始めた 1987 年 2 月，枯損被害が最も進行した 1995 年 2 月，および枯損被害のピークから約 5 年が経過し植生が回復に向かった 2000 年 3 月に撮影された 3 組の空中写真を判読した．

3　結果と考察

3.1　海岸植生分布の経年変化

図 2 は，空中写真判読結果に基づいて作成した被害区における海岸植生分布の経年変化である．なお，図中 No.1～5 は調査測線である．クロマツ枯損被害が発生し始めた 1987 年 2 月（図 2（a））では，砂丘

前線付近が部分的に被害を受けている．1995 年 2 月（図 2（b））では，被害が広域にわたって進行している．枯損被害のピークから約 5 年が経過した 2000 年 3 月（図 2（c））では，後方での海岸植生が一部回復しつつあるものの，それより前方での植生回復はほとんどみられない．2005 年および 2006 年の現地調査によると，2001 年以降海岸植生は徐々にではあるが回復に向かっている．

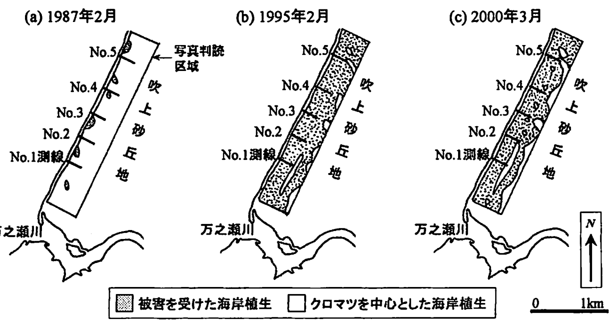

図 2：マツ枯損被害区域における海岸植生分布の経年変化

3.2 マツ枯損後に生じた飛砂の空間的分布

図3および図4は，それぞれ被害区に設けた測線（No.1～5）と健全区に設けた測線（No.6～8）における飛砂量の空間的分布である．なお，飛砂量はクロマツ枯損後約10年間に生じた単位面積あたりの重量である．同図には測線に沿った植生の模式図を付している．

No.1～5 測線においては，飛砂量は前砂丘頂部から離れるに伴って減少するがその減少率は小さく，前砂丘頂部を起点として 240m離れた付近まで及んでいる（図 3（b））．これは，No.1～5 測線においては，海岸植生が前砂丘頂部を起点として 300m付近まで破壊され（図 3（a）），枯損被害前と比較すると密度においても樹高においてもいまだ十分な回復に至っていないことによるものと考えられる．なお，測線間の飛砂量分布に一定の差異がみられるが，これは前砂丘頂部付近の後方における植生の被害状況が測線ごとに異なること，飛砂の発生源が前砂丘頂部付近だけでなくその後方にも及んでいることによるものと考えられる．一方，No.6～8 測線においては，飛砂量は前砂丘付近に限られ，前砂丘頂部を起点として 60m離れた地点以降急激に減少する（図 4（b））．これは，前砂丘頂部を起点として 40m離れた地点から内陸側に位置する高木のクロマツ林（図 4（a）および写真 2）が防風ひいては飛砂防備の機能を発揮したことによる．No.6～8測線においては，クロマツの維持管理が継続的に行われており，高木のクロマツを中心とした海岸林となっている（図 4（a））．

以上のように，海岸植生の状態の違いは飛砂量の空間的分布に大きく影響を及ぼしている．

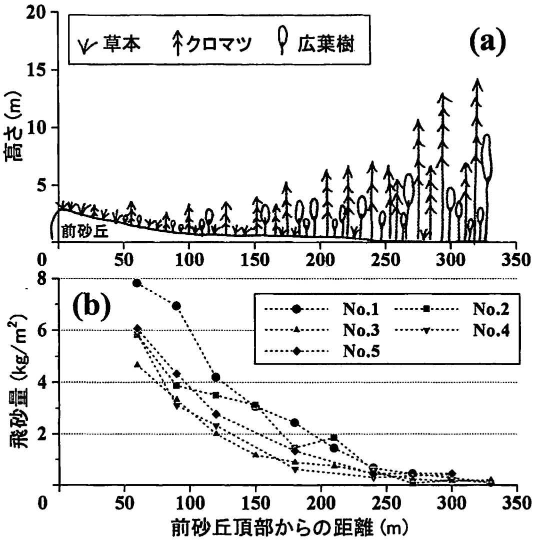

図 3：No.1～5 測線における植生の模式図(a)と飛砂量の分布(b)

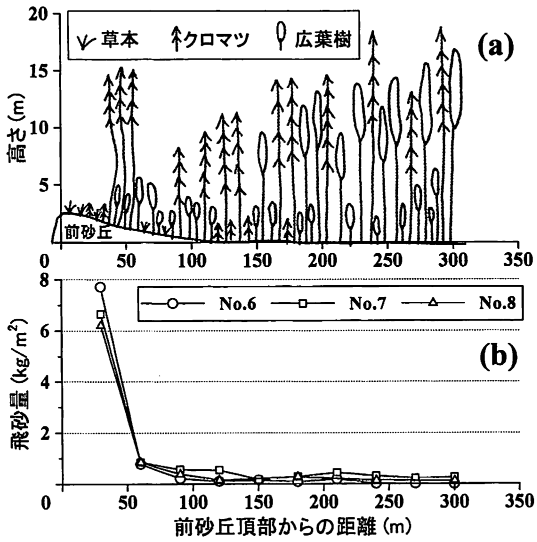

図 4：No.6～8 測線における植生の模式図(a)と飛砂量の分布(b)

3.3 樹種構成とその構造

健全区の測線（No.6～8）と被害区の測線（No.1～5）における主な構成種をそれぞれ表 1 および表 2 に示す．

前砂丘頂部を起点として30m離れた地点までの区間における海岸植生は，健全区（表 1）においても風害や飛砂，飛塩の影響などを頻繁に受け生育環境が厳しいため植物種は限られる．主要構成種として中・上層ではクロマツ，下層・林床では低木性種のノイバラや草本のチガヤとハマゴウなどが挙げられる．前砂丘頂部を起点として30m離れた地点から180

m離れた地点までの区間における海岸植生は，前丘付近に比べ生育環境が緩和されるものの構成種はある程度制限される．主要構成種として中・上層ではクロマツ，高木性種のナナミノキ，低木性種のネズミモチ，下層・林床ではナナミノキとネズミモチなどが挙げられる．前砂丘頂部を起点として180m離れた地点から300m離れた地点までの区間における海岸植生の生育環境は良好であり，広葉樹の侵入もみられる．主要構成種として中・上層ではクロマツ，高木性種のタブノキとアラカシ，下層・林床ではタブノキとネズミモチが挙げられる．

表1：健全区の測線の主要構成種

測線区間（前砂丘頂部からの距離）	階層	主な構成種
0m～30m	中・上層（1m以上）	クロマツ
	下層・林床（1m未満）	ノイバラ チガヤ・ハマゴウ・オニシバ・ススキ
30m～180m	中・上層（1m以上）	クロマツ ナナミノキ・ネズミモチ・ハクサンボク ハゼノキ
	下層・林床（1m未満）	ナナミノキ・ネズミモチ・ハクサンボク
180m～300m	中・上層（1m以上）	クロマツ タブノキ・アラカシ・ナナミノキ・ネズミモチ
	下層・林床（1m未満）	タブノキ・ネズミモチ

表2：被害区の測線の主要構成種

測線区間（前砂丘頂部からの距離）	階層	主な構成種
0m～30m	中・上層（1m以上）	クロマツ
	下層・林床（1m未満）	ノイバラ チガヤ・ハマゴウ・オニシバ・ススキ
30m～330m	中・上層（1m以上）	クロマツ ナナミノキ・ネズミモチ・シャシャンボ アカメガシワ・ハゼノキ
	下層・林床（1m未満）	ナナミノキ・ネズミモチ・シャシャンボ ススキ

健全区の種構成（表1）と対比すると，被害区（表2）においては，前砂丘頂部を起点として30m離れた地点までの区間における主要構成種に違いはみられない．前砂丘頂部を起点として30m離れた地点から330m離れた地点までの区間においては，健全区の前砂丘頂部を起点として30m離れた地点から180m離れた地点までの区間における主要構成種と違いはみられない．これは前砂丘頂部を起点として180m離れた地点から300m離れた地点までの区間でみられた健全な海岸植生が，クロマツ枯損による植生の破壊によって内陸側まで後退したためである．

図5および図6は，それぞれ被害区のNo.1測線と健全区のNo.6測線における木本植生の樹高分布および樹齢構成を比較したものである．図中の地点は前砂丘頂部を起点にした距離である．これら2つの図によると，No.1測線およびNo.6測線ともに前砂丘頂部から離れるにつれて樹高および樹齢の大きな個体が増加している．前砂丘頂部から同じ距離で比較すると，No.6測線の方が樹高および樹齢の大きな個体が多い．No.1測線の前砂丘頂部を起点として60mおよび150m離れた地点の最大樹齢は10年未満であるので（図6），これら2地点における樹種の全てはマツ枯損後の1995年以降に侵入したものである．また，No.1測線の前砂丘頂部を起点として300m離れた地点ではマツ枯損後の1995年以降に侵入した樹種だけでなく，それ以前から残存する樹種も含まれる．ちなみに，前砂丘頂部を起点として60m，150mおよび300m離れた地点の最大樹高および最大樹齢を示した樹種は，No.1測線ではクロマツ，ナナミノキおよびクロマツ，No.6測線ではクロマツ，ナナミノキおよびアラカシである．

空中写真判読結果（図2）と樹齢構成（図6）から判断すると，No.1～5測線の前砂丘頂部を起点として150m離れた地点までの区間において，マツ枯損後の1995年以降新たに侵入した主な木本植生としてクロマツ，常緑広葉樹のナナミノキとネズミモチ，落葉広葉樹のアカメガシワとハゼノキなどが挙げられる（表2）．

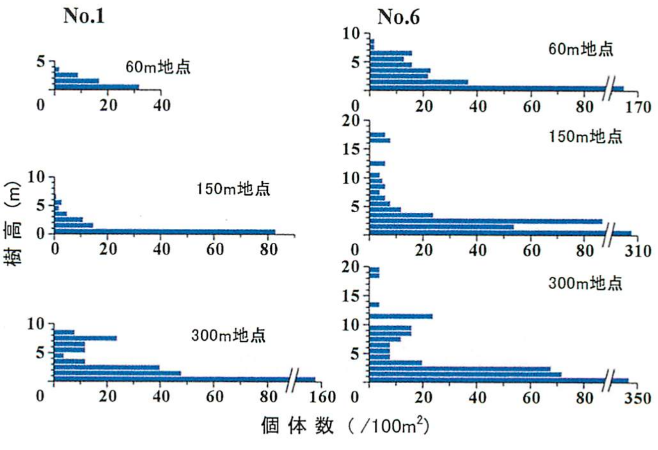

図5：No.1測線およびNo.6測線における木本植生の樹高分布

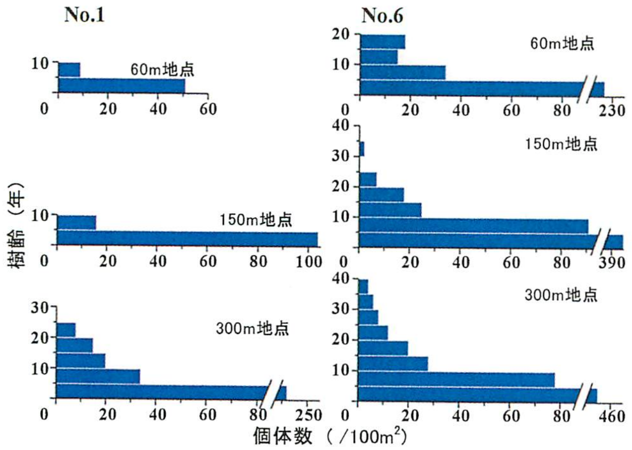

図 6：No.1 測線および No.6 測線における木本植生の樹齢構成

3.4 木本植生の遷移

図 7（a）～（c）は，それぞれ各測線における木本植生の個体数，種数および蓄積量を前砂丘頂部からの距離に対してプロットしたものである．木本植物の個体数，種数および蓄積量は，前砂丘頂部から離れるとともに大きくなる傾向にある．前砂丘頂部から同じ距離で比較すると被害区の No.1～5 測線の方が小さい．

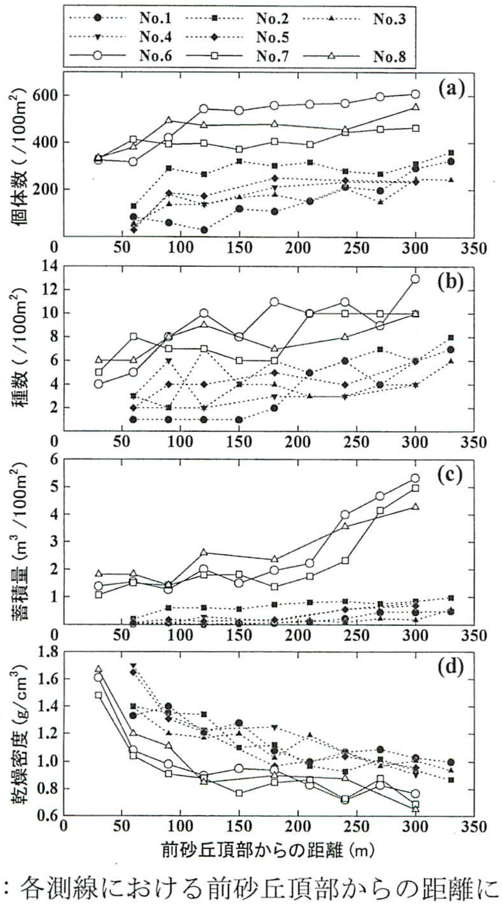

図 7：各測線における前砂丘頂部からの距離に対する木本植生の個体数(a)，種数(b)，蓄積量(c)および乾燥密度(d)の変化

表層の乾燥密度（図 7（d））は，前砂丘頂部から内陸側に向かうにつれて小さくなっていく．前砂丘頂部から同じ距離で比較すると健全区の No.6～8 測線の方が大きい．これは，前砂丘頂部からの距離が遠いほど植生の状態が良好なために，地表に落葉・落枝が多く供給され土壌の物理性が改善されていることと，植物の根系が多く発達することによって表層の空隙率が大きくなることによるものである．

図 8 は，前砂丘頂部からの距離に対する木本植生の遷移を多様度指数 α によって表したものである．多様度指数 α は，前砂丘頂部から離れるとともに大きくなる傾向にある．前砂丘頂部から同じ距離で比較すると No.6～8 測線の方が大きい．一般に，植生遷移が進むにつれて植物群落は複雑化し多様度指数 α は大きくなる（田川，1973）．Tagawa（1964）によると極相林の α は 10 程度であり，この結果と比較すると本研究で対象とした植生の α は大きなものでも 5 程度であり遷移の途中である．この原因として，本研究での植生調査地点は風害や飛砂，飛塩の影響などを頻繁に受け生育環境が厳しいため，この生育環境に適用できる樹種が限られることによる（幸喜，1992；只木，1992 など）．

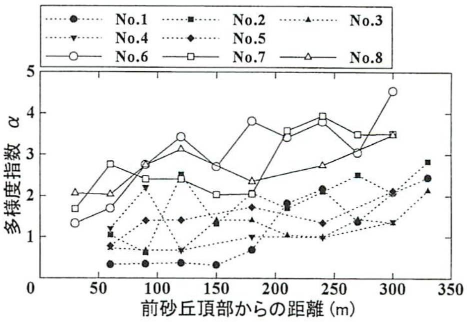

図 8：各測線における前砂丘頂部からの距離に対する多様度指数の変化

4 まとめ

吹上砂丘地におけるクロマツ枯損後の海岸植生の破壊が飛砂に及ぼす影響とマツ枯損後の海岸植生の回復過程について検討した．その結果，マツ枯損被害区（No.1～5 測線）では，飛砂は前砂丘頂部を起点として 240m離れた付近まで及んでいること，海岸植生は前砂丘頂部を起点として 300m付近まで破壊され枯損被害前と比較すると密度においても樹高においても十分な回復に至っていないこと，木本植生の樹齢，個体数，種数および多様度指数からみた植生の遷移度は低いことが明らかになった．

末筆ではあるが，現地調査の際には鹿児島大学農学部砂防・森林水文学研究室の学生諸氏に多大なるご支援をいただいた．ここに記して心より謝意を表する．

引用文献

[1] 萩野裕章・野口宏典・坂本知己（2007）：茨城県村松海岸林に落下した飛砂量の減少過程．日林誌，89，pp.288-291.

[2] 幸喜善福（1991）：飛塩防止．（日本の海岸林．村井宏他編，512pp.，ソフトサイエンス社）．pp.317-325.

[3] 熊本営林局（1996）：海岸保全林整備事業調査報告書．（社）日本林業技術協会，131pp.

[4] 林野庁計画課（1970）：立木幹材積表（西日本編）．日本林業調査会，319pp.

[5] 鈴木　清（1981）：湘南海岸砂防林における飛砂の実態について．神奈川県林試研究報告，7，pp.39-53.

[6] 只木良也（1991）：海岸の生態．（日本の海岸林．村井　宏他編，512pp.，ソフトサイエンス社）．pp.50-66.

[7] Tagawa H.（1964）：A study of the volcanic vegetation in Sakurajima, south-west Japan Ⅰ. Dynamics of vegetation. Mem. Fac. Sci. Kyusyu Univ.，Ser. E (Biol.)，Vol.3，No.3-4，pp.166-228.

[8] 田川日出夫（1973）：生態遷移Ⅰ．共立出版，270pp.

[9] 塚本良則・小坂　泉・内山健蔵・坂爪信介・佐々木学・佐藤和枝（2001）：湘南海岸砂防林における飛砂分布特性について．日林誌，83，pp.40-46.

[10] 倉内一二（1956）：塩風害と海岸林．日生態会誌，5，pp.123-127.

〔受付　平成19年9月25日，　受理　平成19年12月20日〕