

福岡県三里松原における海岸クロマツ林に自然侵入した 広葉樹の種組成と目標林型の検討

桑野泰光*・佐々木重行¹⁾・檜崎康二

海岸クロマツ林の広葉樹林化に適した樹種と目標林型を明らかにするために、海岸クロマツ林に自然侵入した広葉樹の生育状況、空間分布および林冠高について調査した。クラスター分析によって分類された6つの植生タイプは、群落の垂直的構造や樹木の生活形によって特徴付けられ、その分布は汀線側から内陸側に向かって変化した。林冠高がおよそ15m以上となる立地条件では、クロマツを広葉樹へ置き換えることが可能であると判断された。育成対象樹種は、クスノキ、ヤブニッケイ、タブノキ、シロダモ、モチノキ、クロガネモチ、ヒメユズリハなどの“タブ型種”や、エノキ、センダン、ハゼノキなどの落葉高木種で、これらを主体とした樹種構成を目標林型とすることが適当であると考えられた。しかし、育成対象とすべき広葉樹に潮風害等の症状が確認される場合は、風上側にある犠牲林帯の造成や植栽による広葉樹林化を検討する必要がある。また、海岸林の最前線に位置する犠牲林帯では、従前どおりのクロマツによる林帯の維持を基本とし、侵入した広葉樹は補助的な役割を期待して積極的に残す施策が望ましいと考えられる。

[キーワード：海岸林，広葉樹，空間分布，目標林型]

Species Composition of Broad-leaved Trees that Naturally Invade Coastal Black Pine (*Pinus thunbergii*) Forest and Examination of the Target Forest Type at Sanri-Matsubara Coast, Fukuoka Prefecture.

KUWANO Yasumitsu, Shigeyuki SASAKI and Koji NARAZAKI (Fukuoka Agriculture and Forestry Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. For. Res. Cent.* 6:60-67(2020)

The purpose of this study was to elucidate the tree species and the target forest type suitable for broad-leaved forest regeneration in coastal black pine forest. We investigated growth conditions, spatial distribution, and canopy height of broad-leaved trees that naturally invade coastal black pine forest. Six vegetation types were detected, which corresponded to the vertical structure of the community and the tree life form. Their distribution changed from the shoreline toward the inland. At locations where tree canopy reached more than 15 m height, the conditions allowed to replace black pine (*Pinus thunbergii*) with broad-leaved trees. The broad-leaved trees that could be grown include *Cinnamomum camphora*, *C. yabunikkei*, *Machilus thunbergii*, *Neolitsea sericea*, *Ilex integra*, *I. rotunda*, *Daphniphyllum teijsmannii*, *Celtis sinensis*, *Melia azedarach*, and *Toxicodendron succedaneum*. However, if damage by salty wind is confirmed in the naturally occurring broad-leaved trees, it is necessary to establish a sacrificial forest or introduce forest regeneration by planting. In the sacrificial forest located at the forefront of the coastal forest, it is desirable to actively leave the invading broad-leaved trees based on the maintenance of the typical tree belt of black pine.

[Key words : broad-leaved tree, coastal forest, spatial distribution, target forest type]

緒 言

海岸林は、強風防止、飛砂防止、津波や高潮の軽減、潮害防止などの防災機能を有することが知られており、背後にある農地や住宅地などの生活環境を守る重要な役割を果たしている。また、海岸林において防災機能の高さおよび成林の確実性においてクロマツ (*Pinus thunbergii*) に優る樹種は今のところ存在しない (近田 2013)。しかし、マツノマダラカミキリ (*Monochamus alternatus*) が伝搬するマツノザイセンチュウ (*Bursaphelenchus xylophilus*) によって引き起こされるマツ材線虫病、いわゆる“マツ枯れ”によって、海岸林に造成されているクロマツの大量枯損が広がっている (近田ら 2001)。マツ材線虫病は、明治の末期に九州で初めて確認され、その後西日本を中心に日本各地へ広がった。被害は、1979年にピークを迎え日本各地で壊滅的な被害をもたらした (楨原 1992)。さらに、1960年代以後の燃料革命による化石燃料

の利用促進に伴い、燃料や肥料としての落葉・落枝の採取や維持管理作業の減少から海岸クロマツ林は衰退し、海岸林の持つ防災機能の低下が懸念されている。

一方、クロマツが衰退した海岸林では、広葉樹が自然侵入している林分が各地で報告され (井上 1995, 河合 2000, 中島・吉崎 2016)、海岸林の持つ防災機能を維持しつつ防除に係る負担を軽減する策のひとつとして、広葉樹などへの樹種転換や混交林化が検討されている (平尾・西垣 1984, 和田・白沢 1998, 八神 2005, 山中ら 2005, 伊藤 2006, 山中・井ノ上 2010, 渡部ら 2014)。自然植生により成立した海岸林では、汀線から内陸に向かって環境に対応した樹種に交代することが知られている (品田 1996)。したがって、海岸クロマツ林を広葉樹に置き換える場合、単一樹種でクロマツと同等の樹高をもった海岸防災林を造成することは困難である (島田ら 2010)。そこで、島田ら (2010) は、海岸林に生育する樹種の種特性を整理したうえで、現存しているクロマツの樹高を生物

*連絡責任者 (森林林業部 : kuwano-y4329@pref.fukuoka.lg.jp)

受付 2019 年 7 月 19 日 ; 受理 2019 年 10 月 29 日

指標とした樹種転換のためのゾーニング手法および各ゾーンに適した樹種区分を提案した。しかし、この樹種区分には地域性は考慮されていないため、現場に適用するためには対象地域の潜在植生や目標林型を想定する必要がある。

そこで本研究では、福岡県の海岸クロマツ林において広葉樹林化あるいは混交林化への樹種転換を検討する上で、目標林型や育成対象とする広葉樹種を明らかにするために、海岸クロマツ林に自然侵入した広葉樹の生育状況、空間分布および林冠高について調査したので報告する。

材料および方法

1 調査地の概要

調査は、福岡県遠賀郡岡垣町の北部に位置する三里松原で行った(第1図)。三里松原は、岡垣町北部の波津から芦屋町との境界にかけての海岸一帯に広がる、全長約12km、最大幅約1.3km、総面積約430haで、県内随一の規模を誇るクロマツを主体としたマツ林である(三里松原防風保安林保全対策協議会 2010)。岡垣町役場(2018)によると、三里松原のマツ枯れは、2006年から年々増加し2013年にピークを迎え、近年は終息の方向へ向かっている。マツ枯れ被害がピークを迎える前の2009年に調査された三里松原の植生は、クロマツ林が70%を占め、うち53%は老齢林であった。また、常緑広葉樹林は約22%、マツ・広葉樹混交林は5%となっていた(三里松原防風保安林保全対策協議会 2010)。

調査地から約14km離れた宗像気象観測所(気象庁 2019)における年平均気温は16.0℃、年平均降水量は1761.0mm、年平均風速は2.3m/s、最多風向は西北西である(2009～2018年の平均値)。

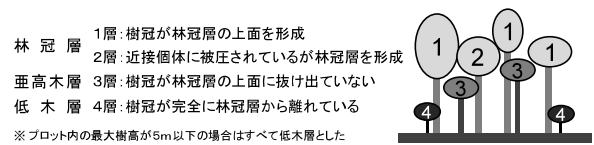


第1図 調査地

2 現地調査

調査地において海岸クロマツ林に自然侵入した広葉樹の生育状況を把握するために、2017年1月～2月にベルトトランセクト法による植生調査を行った。ベルトトランセクトは、汀線から内陸にかけて、海岸線と直角方向へ林帯を横断するように4本設定し、1辺が10mの方形区を1プロットとして連続的に計71プロット設置した(トランセクト1; 170m, 2; 200m, 3; 200m, 4; 140m)。各トランセクトの始点は、砂丘地と樹林帯の間にあるサイクリングロードの内陸側の辺上とした。また、すべてのトランセクトにおいて、始点のプロット(0-10m)には

高さ2.0mの防風垣が存在した。各方形区内に出現した木本植物(つる植物を除く)について、隣接した他個体との関係性に着目した階層区分にもとづき(第2図)、以下の調査を行った。林冠層は、1層木と2層木のすべての個体を対象に樹種名を記録し、樹高、胸高直径を計測した。亜高木層は3層木を対象に樹種名を記録し胸高直径を計測した。なお、複数幹ある個体は、最も高い幹の樹高、すべての幹の胸高直径を計測した。低木層はプロット内に4×10mのサブプロットを設定し、樹高1.2m以上の4層木を対象に樹種別の幹数を記録した。なお、各プロットに出現した樹種の最大樹高が5m以下の場合には、すべて低木層として取り扱った。



第2図 階層区分の定義

1) 甲山ら(1985)の考え方にに基づく

3 データ解析

各プロットの階層別種組成の特徴を評価するために以下の手順で解析を行った。なお、解析対象は、植生調査を行った71プロットのうち、木本植物が確認されなかった1プロット(トランセクト2の始点のプロット)を除く70プロットである。まず、プロット単位で階層別に出現した樹種ごとの胸高断面積(低木層は幹数)を集計し、各階層の胸高断面積合計(低木層は幹数の合計)に対する割合として、それぞれの種の相対優占度(%)を算出した。次に、プロットごとの相対優占度行列から非類似度指数(Bray-Curtis 指数)を算出し、非計量多次元尺度構成法(Nonmetric multi-dimensional Scaling; NMDS)により序列化した。さらに、序列化された座標値を用いた非階層性クラスター分析(k-means 法)により、70の調査プロットを分類し植生タイプとした。クラスター数は2～6の中でCalinski-Harabasz 基準が最大となる値にもとづき決定した。その後、分類された植生タイプを特徴付ける樹種を抽出するために指標種分析(Indicator Species Analysis; INSPAN)を行った。なお、本研究では、indicator value の値が25%以上かつ $P < 0.05$ と判定された樹種を指標種として定義した(Dufrene and Legendre 1997)。

以上の解析は、R-3.4.3(R Core Team 2017)によりvegan パッケージ(Oksanen *et al.* 2017)のmetaMDS関数およびlabdsv パッケージ(Roberts 2016)のindval関数を用いて行った。

結果

1 植生調査で確認された階層別の種組成と出現頻度

ベルトトランセクト法による植生調査で確認された階層別の種組成と出現頻度を第1表に示す。本調査では、植栽木であるクロマツと自然侵入した41種の広葉樹(常

緑樹 23 種、落葉樹 18 種) が確認された。林冠層では、クロマツと 20 種の広葉樹 (常緑樹 12 種、落葉樹 8 種) が確認された。出現頻度はクロマツが 38.0%と最も高く、広葉樹ではエノキ、クスノキ、ヤブニッケイおよびヒメユズリハの出現頻度が高かった。亜高木層では、28 種の広葉樹 (常緑樹 15 種、落葉樹 13 種) が確認され、クロマツは出現しなかった。出現頻度は、トベラが 18.3%と最も高く、次いでネズミモチ、ヤブニッケイ、マサキであった。低木層は、クロマツと 37 種の広葉樹 (常緑樹 21 種、落葉樹 16 種) が確認され、ネズミモチの出現頻度 71.8%と最も高く、次いでトベラ、アカメガシワ、イヌビワ、センダンの順で高かった。

2 クラスタ分析で分類された植生タイプの特徴

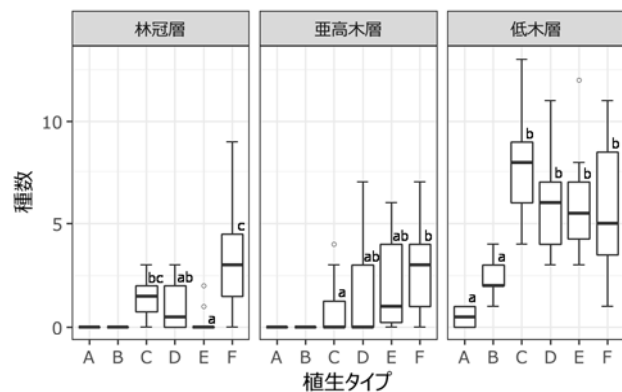
クラスタ分析の結果、70 の調査プロットは 6 つの植生タイプ (タイプ A~F) に分類された (第 2 表)。タイプ A (n= 4) およびタイプ B (n= 9) は、植栽木であるクロマツが低木層に優占し、階層構造がほとんど発達しないクロマツ低木林タイプであった。タイプ A は、クロマツ以外にはアキグミのみ生育し、両種とも指標種として選択された。タイプ B は、タイプ A の樹種に加え、トベラ、ナワシログミ、ネズミモチなどの常緑低木種やハリエンジュ (別名: ニセアカシア) が生育し、基準を満たす指標種はなかった。タイプ C (n=16) は、プロット内にクロマツが出現しない広葉樹林タイプであり、林冠層にエノキ、ヒメユズリハ、ヤブニッケイおよびクスノキが優占していた。亜高木層には、マサキ、アカメガシワ、エノキ、ネズミモチおよびヤブニッケイが優占し、低木層にはアカメガシワの優占度が高かった。指標種分析の結果、低木層のアカメガシワが選択された。タイプ D (n=12) は、林冠層と亜高木層においてクロマツが出現しない植生タイプで、低木層においてもクロマツの出現は 1 プロットのみであった。林冠層はエノキの優占度が 76.2%と高く、亜高木層はネズミモチ、カンコノキ、マサキ、トベラおよびナワシログミ、低木層はトベラ、ネズミモチおよびナワシログミの優占度が高かった。指標種は、低木層のナワシログミとクスドイゲであった。タイプ E (n=14) は、林冠層にクロマツが優占 (90.7%) し、亜高木層にヤブニッケイ、ヒメユズリハおよびトベラ、低木層にトベラ、ハリエンジュおよびネズミモチが優占していた。指標種は、林冠層のクロマツ、亜高木層のトベラ、低木層のトベラとハリエンジュであった。タイプ F (n=15) は、林冠層においてクロマツと広葉樹が混交した植生タイプであった。林冠層の優占種はクロマツ、ヤブニッケイおよびクスノキで、その他にも 12 種の広葉樹が出現した。亜高木層ではナナミノキ、ネズミモチ、エノキおよびハゼノキ、低木層ではネズミモチ、ヤブニッケイおよびアカメガシワがそれぞれ優占していた。指標種分析の結果、林冠層のセンダン、ナナミノキおよびハゼノキ、亜高木層のハゼノキ、低木層のネズミモチ、ヤブニッケイ、イヌビワおよびカクレミノが選択された。

各階層における広葉樹の平均出現種数を植生タイプ別に比較した結果を第 3 図に示す。林冠層は、タイプ F が

第 1 表 階層別の種組成と出現頻度

和名	学名	生活形 ¹⁾	出現頻度 ²⁾ (%)		
			林冠層	亜高木層	低木層
クロマツ	<i>Pinus thunbergii</i>	常緑 高木	38.0	0.0	18.3
ヤブニッケイ	<i>Cinnamomum yabunikkei</i>	常緑 高木	16.9	15.5	29.6
クスノキ	<i>Cinnamomum camphora</i>	常緑 高木	19.7	1.4	15.5
ヒメユズリハ	<i>Daphniphyllum teijsmannii</i>	常緑 高木	8.5	5.6	19.7
シロダモ	<i>Neolitsea sericea</i>	常緑 高木	4.2	5.6	16.9
ナナミノキ	<i>Ilex chinensis</i>	常緑 高木	5.6	4.2	9.9
タブノキ	<i>Machilus thunbergii</i>	常緑 高木	7.0	0.0	4.2
クロガネモチ	<i>Ilex rotunda</i>	常緑 高木	2.8	4.2	2.8
カクレミノ	<i>Dendropanax trifidus</i>	常緑 高木	0.0	0.0	8.5
モチノキ	<i>Ilex integra</i>	常緑 高木	2.8	5.6	0.0
モッコク	<i>Ternstroemia gymnanthera</i>	常緑 高木	2.8	0.0	4.2
クロキ	<i>Symplocos kuroki</i>	常緑 高木	0.0	2.8	1.4
ミミズバイ	<i>Symplocos glauca</i>	常緑 高木	0.0	0.0	2.8
カゴノキ	<i>Litsea coreana</i>	常緑 高木	0.0	0.0	1.4
ヤマモモ	<i>Morella rubra</i>	常緑 高木	0.0	1.4	0.0
ネズミモチ	<i>Ligustrum japonicum</i>	常緑 低木	1.4	16.9	71.8
トベラ	<i>Pittosporum tobira</i>	常緑 低木	1.4	18.3	56.3
ナワシログミ	<i>Elaeagnus pungens</i>	常緑 低木	0.0	4.2	32.4
マサキ	<i>Euonymus japonicus</i>	常緑 低木	1.4	11.3	26.8
タイミンチバナ	<i>Myrsine seguinii</i>	常緑 低木	0.0	4.2	4.2
クスドイゲ	<i>Xylosma congesta</i>	常緑 低木	0.0	1.4	7.0
クチナシ	<i>Gardenia jasminoides</i>	常緑 低木	0.0	0.0	1.4
コショウノキ	<i>Daphne kiusiana</i>	常緑 低木	0.0	0.0	1.4
シャシヤンボ	<i>Vaccinium bracteatum</i>	常緑 低木	0.0	0.0	1.4
アカメガシワ	<i>Mallotus japonicus</i>	落葉 高木	2.8	2.8	40.9
センダン	<i>Melia azedarach</i>	落葉 高木	5.6	5.6	35.2
エノキ	<i>Celtis sinensis</i>	落葉 高木	28.2	7.0	9.9
ハゼノキ	<i>Toxicodendron succedaneum</i>	落葉 高木	7.0	9.9	14.1
エゴノキ	<i>Styrax japonicus</i>	落葉 高木	1.4	4.2	25.4
ハリエンジュ	<i>Robinia pseudoacacia</i>	落葉 高木	1.4	2.8	21.1
ヤマハゼ	<i>Toxicodendron sylvestris</i>	落葉 高木	0.0	1.4	14.1
アラリノキ	<i>Aralia elata</i>	落葉 高木	0.0	0.0	5.6
カラスザンショウ	<i>Zanthoxylum ailanthoides</i>	落葉 高木	0.0	0.0	2.8
スルデ	<i>Rhus javanica</i>	落葉 高木	0.0	0.0	2.8
カキノキ	<i>Diospyros kaki</i>	落葉 高木	0.0	1.4	0.0
ヤマザクラ	<i>Cerasus jamasakura</i>	落葉 高木	1.4	1.4	4.2
イヌビワ	<i>Ficus erecta</i>	落葉 低木	0.0	4.2	36.6
アキグミ	<i>Elaeagnus umbellata</i>	落葉 低木	0.0	0.0	11.3
ハクサギ	<i>Premna microphylla</i>	落葉 低木	0.0	4.2	7.0
カンコノキ	<i>Glochidion obovatum</i>	落葉 低木	1.4	2.8	0.0
ヤブムラサキ	<i>Callicarpa mollis</i>	落葉 低木	0.0	1.4	2.8
ウツギ	<i>Deutzia crenata</i>	落葉 低木	0.0	0.0	1.4

- 1) 生活形: 図鑑の記載を参考に分類 (奥田 1997, 茂木ら 2000a, 茂木ら 2000b, 茂木ら 2001)
- 2) 出現頻度: 出現プロット数/調査プロット数×100 (%)



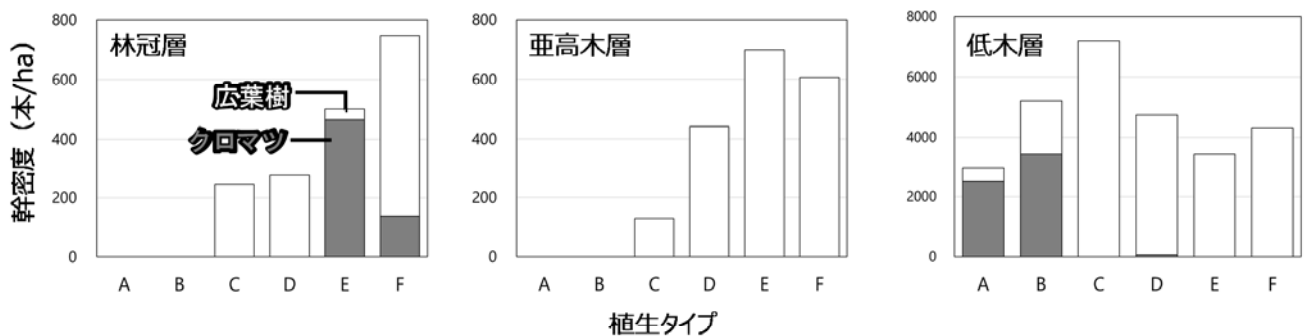
第 3 図 各階層における植生タイプ別の広葉樹出現種数

- 1) 箱ひげ図は箱中の横線が中央値、箱の下端が第 1 四分位 (25%), 箱の上端が第 3 四分位 (75%), ひげの両端が箱の長さの 1.5 倍内にある最大値または最小値、ひげの外側にある白丸 (○) が外れ値を示す
- 2) 図中の異なるアルファベットは有意差があることを示す (Steel-Dwass の多重比較, $P < 0.05$)。ただし、林冠層および亜高木層の植生タイプ A および B は出現がなかったため解析対象外

第2表 クラスタ分析によって分類された各植生タイプにおける林冠層、亜高木層および低木層の樹種別相対優占度と指標種

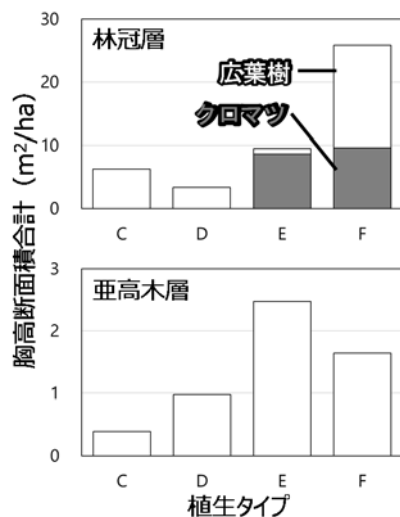
和名	生活形	タイプA (n = 4)			タイプB (n = 9)			タイプC (n = 16)			タイプD (n = 12)			タイプE (n = 14)			タイプF (n = 15)		
		林冠層	亜高木層	低木層	林冠層	亜高木層	低木層	林冠層	亜高木層	低木層	林冠層	亜高木層	低木層	林冠層	亜高木層	低木層	林冠層	亜高木層	低木層
クロマツ	常緑 高木	—	—	85.1	—	—	66.3	0	0	0	0	0	1.3	90.7	0	0	37.3	0	0
ヤブニッケイ	常緑 高木	—	—	0	—	—	0	22.4	13.0	2.6	0	0	0.4	0	26.9	2.1	18.1	5.5	11.6
クスノキ	常緑 高木	—	—	0	—	—	0	15.8	0	1.7	10.8	0	1.8	0	0	0.5	12.2	1.8	0.4
ヒメユズリハ	常緑 高木	—	—	0	—	—	0	24.6	0	3.7	0	0	0.4	0	19.5	2.6	2.6	5.3	1.9
シロダモ	常緑 高木	—	—	0	—	—	0	1.2	4.5	1.5	1.9	0	0.9	0	1.4	1.0	0.2	7.2	4.3
ナナミノキ	常緑 高木	—	—	0	—	—	0	0	0	2.0	0	0	0	0	1.2	0	2.6	15.6	1.9
タブノキ	常緑 高木	—	—	0	—	—	0	0	0	0.4	0	0	0.4	6.4	0	0	6.7	0	0.4
クロガネモチ	常緑 高木	—	—	0	—	—	0	0	0	0.4	0	0	0	0	1.9	0	1.4	1.6	0
カクレミノ	常緑 高木	—	—	0	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	3.5
モチノキ	常緑 高木	—	—	0	—	—	0	0	0	0	6.4	0	0	0	9.6	0	0.7	0.7	0
モッコク	常緑 高木	—	—	0	—	—	0	0	0	0.7	0	0	0	0	0	0	2.4	0	0
クロギ	常緑 高木	—	—	0	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	4.1	0.5	0	1.2	0
ミズズバイ	常緑 高木	—	—	0	—	—	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4
カゴノキ	常緑 高木	—	—	0	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4
ヤマモモ	常緑 高木	—	—	0	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.2	0
ネズミモチ	常緑 低木	—	—	0	—	—	3.2	0	13.5	11.5	1.1	19.2	18.5	0	5.8	11.9	0	15.6	30.9
トベラ	常緑 低木	—	—	0	—	—	9.1	0	4.2	2.8	0.8	16.6	20.7	0	15.3	28.5	0	3.1	3.1
ナワシログミ	常緑 低木	—	—	0	—	—	6.4	0	0	1.3	0	11.6	16.3	0	3.9	3.6	0	2.5	1.5
マサキ	常緑 低木	—	—	0	—	—	0	0	20.7	3.9	2.8	17.8	5.3	0	2.8	4.7	0	2.7	2.7
クスドイゲ	常緑 低木	—	—	0	—	—	0	0	0	0.2	0	1.4	1.8	0	0	0	0	0	0
タイミンタチバナ	常緑 低木	—	—	0	—	—	0	0	0	0.7	0	0	0	0	0.3	0.5	0	0.6	0.8
クチナシ	常緑 低木	—	—	0	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0
シャシヤンボ	常緑 低木	—	—	0	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0
コショウノキ	常緑 低木	—	—	0	—	—	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
アカメガシワ	落葉 高木	—	—	0	—	—	0	0.5	18.9	41.3	0	0	5.3	0	0	1.0	0.1	0	11.6
センダン	落葉 高木	—	—	0	—	—	0	0	0	5.2	0	4.3	6.2	0	1.5	8.3	9.6	0	7.7
エノキ	落葉 高木	—	—	0	—	—	0	34.1	16.6	1.7	76.2	0	1.3	2.0	0	0.5	5.0	14.0	0
エゴノキ	落葉 高木	—	—	0	—	—	0.5	0	4.8	3.0	0	0	8.4	0.8	1.8	5.2	0	0	0.8
ハゼノキ	落葉 高木	—	—	0	—	—	0	0	0	0.9	0	6.9	0	0	1.6	0.5	1.0	13.7	2.7
ハミエンジュ	落葉 高木	—	—	0	—	—	8.0	0	0	0.7	0	0	3.5	0.1	2.3	20.7	0	0	0.4
ヤマハゼ	落葉 高木	—	—	0	—	—	1.6	0	0	4.6	0	1.9	1.3	0	0	0.5	0	0	0
ヤマザクラ	落葉 高木	—	—	0	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.3	0.4	0.8
タラノキ	落葉 高木	—	—	0	—	—	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5
カラスザンショウ	落葉 高木	—	—	0	—	—	0	0	0	1.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4
ヌルデ	落葉 高木	—	—	0	—	—	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0
カキノキ	落葉 高木	—	—	0	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7	0
イヌビワ	落葉 低木	—	—	0	—	—	0	0	0	5.4	0	0	4.4	0	0	1.6	0	1.3	9.7
アキグミ	落葉 低木	—	—	14.9	—	—	4.8	0	0	0.2	0	0	0.4	0	0	2.6	0	0	0
ハマクサギ	落葉 低木	—	—	0	—	—	0	0	0	0.2	0	2.7	0.9	0	0	0.5	0	4.7	0.8
カンコノキ	落葉 低木	—	—	0	—	—	0	1.5	0	0	0	17.8	0	0	0	0	0	0	0
ヤブムラサキ	落葉 低木	—	—	0	—	—	0	0	3.8	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ウツギ	落葉 低木	—	—	0	—	—	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0

- 1) 表中の数値は胸高断面積（低木層は幹数）による相対優占度（%）を示す
- 2) 表中の灰色部分は各植生タイプにおける指標種であることを示す



第4図 各階層における植生タイプ別の平均幹密度

3.3種と最も多く、タイプD(1.0種)およびE(0.3種)に対して有意差が認められた。亜高木層は、タイプFが最も多く(3.0種)、最も少ないタイプC(0.9種)と有意差が認められた。低木層はタイプAおよびBで他の植生タイプと比較して有意に少なかった。平均幹密度(本/ha)は、林冠層ではタイプE(500本/ha)およびF(747本/ha)、亜高木層ではタイプD(442本/ha)、E(700本/ha)、F(607本/ha)で高い傾向があった。低木層では、タイプAおよびEで低い傾向があった(第4図)。広葉樹の平均胸高断面面積合計(m^2/ha)は、林冠層でタイプF($16.2\text{m}^2/\text{ha}$)、亜高木層でタイプE($2.5\text{m}^2/\text{ha}$)およびF($1.6\text{m}^2/\text{ha}$)で高い傾向があった(第5図)。第6図に植生タイプ別の林冠高を示す。タイプFの林冠高は平均15.0mで、他の植生タイプと比較して有意に高かった。また、低木層のみで構成されたタイプAおよびBは、タイプEおよびFより有意に低かった。各植生タイプの空間分布を第7図に示す。汀線に近いエリアには、クロマ

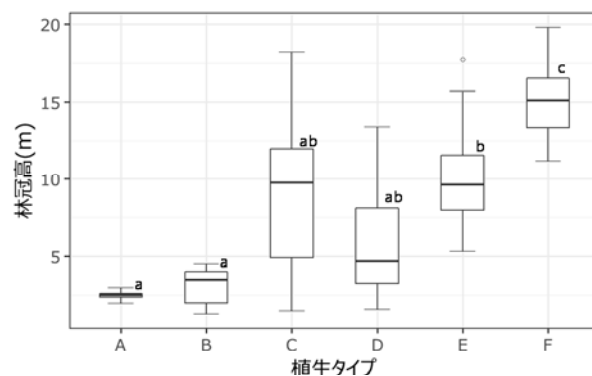


第5図 林冠層および亜高木層における植生タイプ別の平均胸高断面面積合計

ツ低木林タイプであるタイプAとBが分布し、その後背地にタイプDまたはE、さらにその後背地にタイプFが分布していた。タイプCはトランセクト3または4、タイプFはトランセクト1または2に多く分布していた。

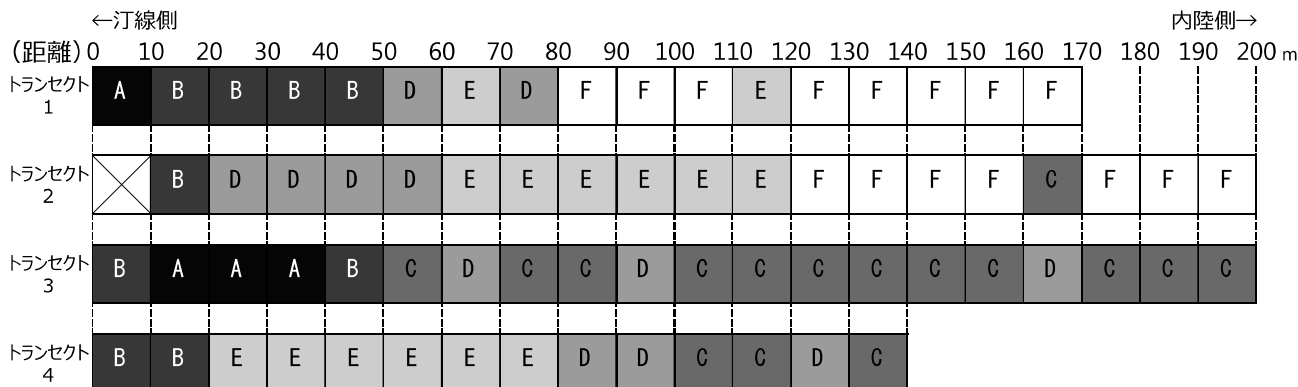
考 察

海岸クロマツ林において、自然侵入した広葉樹の生育状況を把握するために植生調査を行った結果、群落の垂直的構造や樹木の生活形によって特徴付けられた6つの植生タイプ(A~F)に分類され、汀線側から内陸側に向かってその分布が変化していた。タイプAおよびBは、樹高の低いクロマツが優占するクロマツ低木林中、樹林帯の最前線に近いゾーン(0~50m)に偏って分布していた。このゾーンは、いわゆる“犠牲林帯”と呼ばれており、潮風の影響を最前線で受けるため、その樹高は低く抑制される(伊藤 1985)。クロマツ以外は特定の樹種のみ生



第6図 植生タイプ別の林冠高

- 1) 林冠高はプロット内に出現した樹種の最大樹高
- 2) 箱ひげ図は箱中の横線が中央値、箱の下端が第1四分位(25%)、箱の上端が第3四分位(75%)、ひげの両端が箱の長さの1.5倍内にある最大値または最小値、ひげの外側にある白丸(○)が外れ値を表す
- 3) 図中の異なるアルファベットは有意差があることを示す(Steel-Dwassの多重比較, $P < 0.05$)。



第7図 各植生タイプの空間分布

- 1) 図中のアルファベット(A~F)はクラスター分析によって分類された植生タイプを示す
- 2) トランセクト2の始点のプロット(0-10m)は本種類が存在しなかったため解析対象外

育可能で、本調査では、トベラ、マサキ、アキグミ、ナワシログミなどの低木性の樹種が生育し、その林冠高はすべてのプロットで 5m 以下であった。トベラとマサキは、耐塩性や耐潮性にすぐれ（倉内 1956, 高橋・堀江 1965, 垣原ら 2007, 垣原ら 2008, 伊東・吉崎 2013）、九州北部の海岸風衝地において典型的に成立するマサキトベラ群集の標徴種である（宮脇 1981）。また、アキグミとナワシログミについては、調査地の樹林帯より汀線側の砂丘地にも多数の個体が自然生育していることを確認している。さらに、他地域の調査事例においても海岸林の最前線に生育する主要な樹種であると報告されている（品田 1996, 中島・吉崎 2018）ことから、海岸最前線での耐性は高いものと考えられた（島田ら 2014）。よって、トベラ、マサキ、アキグミおよびナワシログミは、潮風や飛砂の影響が強い最前線のゾーンにおいて、クロマツと置き換え可能な樹種だと判断できる。

ただし、飛砂防止や潮害防止などの防災機能を発揮させるためには相応の密度が必要である。広葉樹の適正な密度については、厳密には樹種ごとに検討する必要があるが、現時点で十分な情報はない（島田ら 2014）。クロマツの適正密度と同程度必要であると仮定すると、タイプ A および B の林冠高 1.8~4.5m では、およそ 4,400~9,800 本/ha となる（島田ら 2014）。しかし、タイプ A および B に生育していた広葉樹の密度は、平均 1,346 本/ha（0~4,500 本/ha）と低く、自然侵入した個体だけで防災機能を十分に発揮させるだけの密度を維持することは困難であると考えられる。さらに、海岸林における広葉樹の植栽技術については、各地で現地実証試験による知見が集まりつつある（伊藤 1999, 武田・金子 2007, 津田ら 2008, 小平 2011）が、未だ確立しているとは言いがたい。一方、近年マツ材線虫病に極めて強いクロマツ「ハイパーマツ黒」が開発され（大平ら 2010）、福岡県では 2010 年から生産を開始し、海岸林での植栽も始まっている（宮原・檜崎 2019）。よって、海岸の最前線のゾーンにおいては、従前どおりのクロマツによる林帯の維持を基本とし、侵入した広葉樹は補助的な役割を期待して積極的に残す施策が望ましいと考えられる。

タイプ C は、広葉樹種のみで構成される植生タイプで、トランセクト 3 および 4 で多く出現した。林冠層や亜高木層は幹密度が低く未発達であったのに対し、低木層は幹密度が高く、指標種として選択されたアカメガシワの優占度が高いことが特徴として認められた。井上（1995）は、マツ材線虫病により集団枯死した林分で被害木の伐倒・搬出が行われた跡地では、林地が大きな攪乱を受けて裸地化し、二次遷移の初期の状態になると報告している。その後、5~15 年ほど経過すると、低木層にアカメガシワやハゼノキなど先駆性樹種が優占する林に遷移するとしている。調査地である三里松原は、2012~2014 年にかけてマツ枯れの激害が発生（岡垣町役場 2018）し、その後数年間にわたって被害木の伐倒・搬出が行われた。トランセクト 3 および 4 の周辺部ではその痕跡が多く残されていたことから、大規模にマツ枯れが発生した跡地であったと推察された。

タイプ D は広葉樹を主体とする植生タイプで、林冠層でエノキが高い優占度を示した。しかし、単木であったため幹密度や胸高断面積合計は小さく、階層構造は未発達であった。亜高木層や低木層では、トベラやマサキ、ナワシログミ（指標種）など、最前線での耐性がある常緑低木種の優占度が高かったことから、ある程度潮風の影響を受けている環境であると推察された。

トランセクト 3 および 4 においてタイプ C または D に分類されたプロットで林冠層や亜高木層を形成していた広葉樹は、松くい虫被害が発生する以前にクロマツ林へ侵入していたものと考えられた。しかし、これらの個体の多くで葉のちぢれや落葉、枝の枯れ下がりなどの症状が観察され、今後衰退・枯死する可能性が示唆された。トランセクト 3 および 4 の風上側にあたる三里松原の北西エリアは大規模なマツ枯れ被害を受け犠牲林帯が消失または衰退した状態となっている。そのため、混交していたクロマツの消失も相まって、残存した広葉樹は潮風を直接受けることになったと考えられた。このように、大規模なマツ枯れ被害跡地において風上側の樹林帯の衰退や混交していたクロマツの消失により、残された広葉樹に潮風害等の症状が確認された場合、自然侵入による広葉樹林化は困難となることが予想される。よって、風上側のクロマツによる樹林帯（犠牲林帯）の造成、および植栽による広葉樹林化を検討する必要があると考えられる。

タイプ E は林冠層を優占するクロマツの下層にヤブニッケイ、ヒメユズリハ、モチノキなどの常緑高木種や、トベラ、ネズミモチなどの常緑低木種が優占する、クロマツ-広葉樹二段林の様相を呈していた。タイプ D と共通の特徴として、下層にトベラやマサキ、ナワシログミなどの優占度が高く、指標種として抽出されていたことがあげられた。一方、相違点は亜高木層にヤブニッケイ、ヒメユズリハなどの常緑高木種が優占していたことであった。おそらく林冠層のクロマツの幹密度の高さが林内環境の安定に寄与し、亜高木層が発達したと考えられた。よって、犠牲林帯の後背地において、より安定的な林帯を形成するためには、林冠層にクロマツの存在が必要であり、クロマツ-広葉樹二段林のような林型が望ましいと考えられる。

タイプ E において指標種のひとつとして選択されたハリエンジュは、北アメリカ原産の外来樹木で、日本の侵略的外来種ワースト 100 に含まれている（日本生態学会編 2002）。ハリエンジュは、窒素固定菌と共生していること（Bormann *et al.* 1993）から、肥料木として海岸林にクロマツと混交して植栽されてきた（河合 2006）。本調査地に生育していたハリエンジュが、植栽されたものか、自然侵入したものかは不明であるが、在来植物やクロマツの生育を阻害することが指摘されており（諸岡ら 2000, 千木 2005）、育成対象とすることは望ましくないと考えられる。

本調査において最も内陸側に分布していたタイプ F は、他の植生タイプと比較して林冠層を形成する広葉樹種が多く存在し、幹密度や胸高断面積合計も大きく、階層構造が発達した植生タイプであった。さらに、林冠高は平均 15

m以上と最も高い植生タイプであり、クロマツの樹高を超える広葉樹の存在も確認された。タイプ F の分布ゾーンは、前線の林帯の存在により潮風等の環境圧が小さくなる立地条件 (坂木 2010) であるため、クロマツほどの耐性を必要とせず、広葉樹への置き換えに適していると判断できる。服部 (1993) は、照葉樹林を林冠優占種にもとづきシイ型、カシ型、タブ型の 3 型に区分している。その中で、タブ型林は最も沿岸で優占することを明らかにし、このタブ型林を構成する被食散布型で耐塩性を持つ照葉高木 15 種 (タブノキ、ホルトノキ、ヤブニッケイ、シロダモ、イヌマキ、モチノキ、クスノキ、カゴノキ、ヒメユズリハ、ナタオレノキ、パクチノキ、モクダチバナ、クロガネモチ、ショウベンノキ、モッコク) を“タブ型種”と定義した。タイプ F において各階層で出現した多くの常緑高木種が、この“タブ型種”に含まれていたことから、タイプ F の構成樹種を育成対象樹種とすることが望ましいと考えられる。

一方、林冠層や亜高木層で比較的高い優占度を示したエノキやセンダン、ハゼノキなどの落葉樹は、防災機能の観点から考えると常緑樹よりも存在意義が小さい。しかし、落葉広葉樹は土壌養分量の増加に寄与することが明らかにされており (藤田・中田 2001)、常緑樹がクロマツ林内に侵入・定着しやすい環境を作り出す効果が期待できる。特に、エノキは海岸林の内陸側においてしばしば優占する樹種として報告されており (小平 2010)、積極的に残すことが推奨される。また、センダンは成長の極めて早い樹種として知られており、砂地における適応性も高い (家入・福山 1995) ため、マツ枯れ跡地において早期の成林が求められる場合、有効な樹種と考えられる。

以上のことから、福岡県において海岸クロマツ林に自然侵入した広葉樹を活用して広葉樹林化や混交林化を目指す場合、林冠高がおよそ 15m 以上となる立地条件において、クスノキ、ヤブニッケイ、タブノキ、シロダモ、モチノキ、クロガネモチ、ヒメユズリハなどの“タブ型種”や、エノキ、センダン、ハゼノキなどの落葉高木種を育成対象とし、これらを主体とした樹種構成を目標林型とすることが適当であると判断された。

今後、各植生タイプの成立要因を明らかにするためには、飛来塩分濃度や風速などの環境要因が植生の発達に及ぼす影響について検討する必要がある。

引用文献

- Bomann BT, Bormann FH, Bowden WB, Pierce RS, Hamburg SP, Wang D, Snyder MC, Li CY, Ingersoll RC (1993) Rapid N₂ fixation in pines, alder, and locust: Evidence from the sandbox ecosystem study. *Ecology* 74:583-598.
- Dufrene, M. and Legendre, P. (1997) Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monograph*, 67:345-366.
- 藤田恵美・中田 誠 (2001) 海岸砂丘地のクロマツ林における広葉樹の混交による立地環境変化—新潟県下越地方における事例—。日林誌 83 (2) : 84-92.
- 服部 保 (1993) タブノキ型林の群落生態学的研究: II. タブノキ型林の地理的分布と立地条件. 日生態誌 43 (2) : 99-109.
- 平尾勝男・西垣慎太郎 (1984) 海岸林の実態調査からクロマツに替わる樹種選定について. 鳥取林試研報 27 : 23-31.
- 家入龍二・福山宣高 (1995) 早成林業の技術開発に関する研究. 熊本林指業務報告 33 : 11-13.
- 井上 晋 (1995) 九州大学早良演習場におけるマツ枯れ林分の植生変化. 九州大学農学部演習林報告 72:21-32.
- 伊東日向・吉崎真司 (2013) 沿岸域に生育する常緑広葉樹を用いた塩水による生育実験. 日緑工誌 39 (1) : 117-120.
- 伊藤重右衛門 (1985) 北海道における海岸林造成に関する基礎的研究. 北海道林試研報 23 : 1-108.
- 伊藤 聡 (1999) 多様な樹種による海岸防災林造成方法の研究 (1)—海岸防災林の造成に関する植栽樹種の初期生長特性—. 山形森研研報 27 : 5-10.
- 伊藤 聡 (2006) 山形県の海岸丘陵地帯における広葉樹林復元の目標林型. 山形森研研報 30 : 21-27.
- 垣原登志子・金子桃子・小林範之・中島勇喜・江崎次夫 (2007) マサキ (*Euonymus Japonicus* Thunb.) の防潮林としての適応性. 海岸林学会誌 6 (2) : 23-28.
- 垣原登志子・小林範之・中島勇喜・配川美幸・江崎次夫 (2008) マサキ (*Euonymus Japonicus* Thunb.) の防潮林としての適応性 (II). 海岸林学会誌 7 (2) : 37-42.
- 河合英二 (2000) 海岸防災林の最近の問題点. 山林 1397 : 58-65.
- 河合英二 (2006) 海岸砂丘地に導入したニセアカシア (ハリエンジュ) の影響. 海岸林学会誌 5 (2) : 21-24.
- 気象庁 (2019) 過去の気象データ検索. <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2019 年 6 月 30 日閲覧).
- 小平哲夫 (2010) 千葉県九十九里浜におけるマツ材線虫病により枯れが進んだクロマツ海岸防災林の目標林型の検討. 関東森研 61:223-226.
- 小平哲夫 (2011) 千葉市幕張の浜における造成 30 年が経過した海岸防災林の植物社会学的評価. 関東森研 62:233-226.
- 近田文弘・伊藤忠雄・西川 肇 (2001) 日本の海岸林の現状と機能. 海岸林学会誌 1 (1) : 1-4.
- 近田文弘 (2013) なぜ、クロマツなのか?—日本の海岸林の防災機能について—. 海岸林学会誌 12 (2) : 23-28.
- 甲山隆司・坂本圭児・小林達明・渡辺隆一 (1985) 小楊子流域の照葉樹厳選林における林木群集の構造. 環境庁自然保護局 (編). 屋久島の自然 屋久島原生自然環境保全地域調査報告書, 東京, p. 375-397.
- 倉内一二 (1956) 塩風害と海岸林. 日本生態誌 5 (3) : 123-127.
- 槇原 寛 (1992) 海岸マツ林とマツノマダラカミキリ. 日本の海岸林—多面的な環境機能とその活用—. ソフト

- サイエンス社, 東京, p. 484-491.
- 宮原文彦・檜崎康二(2019)マツ材線虫病抵抗性クロマツ「ハイパーマツ黒」のさし木苗得苗率の向上. 福岡農林総試研報 5 : 53-61.
- 宮脇 昭(編)(1981)日本の植生誌 九州. 至文堂, 東京 : p. 107-108.
- 茂木 透・高橋秀男・勝山輝夫・石井英美・太田和夫・城川四郎・崎尾 均・中川重年・吉山 寛(2000a)山溪ハンディ図鑑 3 樹に咲く花 離弁花①. 山と溪谷社, 東京, p. 1-720.
- 茂木 透・高橋秀男・勝山輝夫・石井英美・太田和夫・城川四郎・崎尾 均・中川重年・吉山 寛(2000b)山溪ハンディ図鑑 4 樹に咲く花 離弁花②. 山と溪谷社, 東京, p. 1-720.
- 茂木 透・高橋秀男・勝山輝夫・石井英美・太田和夫・城川四郎・崎尾 均・中川重年・吉山 寛(2001)山溪ハンディ図鑑 5 樹に咲く花 合弁花・単子葉・裸子植物. 山と溪谷社, 東京, p. 1-720.
- 諸岡信康・久野勝治・前河正昭・平舘俊太郎・藤井義晴(2000)ニセアカシアのアレロパシーの検証と作用物質の分析. 雑草研究 45 巻 Supplement 号 : 82-83.
- 中島有美子・吉崎真司(2016)愛知県渥美半島堀切海岸における広葉樹海岸林の種組成および分布パターン. 日緑工誌 42(1) : 92-97.
- 中島有美子・吉崎真司(2018)西南日本における暖温帯の常緑広葉樹で構成される海岸林の群落型と立地条件について. 日緑工誌 43(4) : 596-604.
- 日本生態学会(編)(2002)外来種ハンドブック. 地人書館, 東京, p. 363.
- 大平峰子・宮原文彦・森 康浩・大川雅史・宮崎潤二・真崎修一・吉本喜久雄・佐々木義則・山田康裕・三樹陽一郎・田上敏彦・小山孝雄・宮里 学・鳥羽瀬正志・黒田慶子・岡村政則・松永孝治・白石 進(2010)クロマツの第二世代マツ材線虫病抵抗性種苗生産システムの構築. 林木の育種 235 : 1-5.
- 岡垣町役場(2018)松枯れ被害について. 産業振興課農林水産振興係, 福岡, <https://www.town.okagaki.lg.jp/s025/060/120/060/030/20180205160447.html> (2019年6月26日閲覧).
- Oksanen J, Blanchet FG, Kindt R, Legendre P, Minchin PR, O'Hara RB, Simpson GL, Solymos P, Stevens MHH, Wagner H(2017)vegan: Community Ecology Package. R package version 2.4-2. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- 奥田重俊(1997)海岸の植物. 日本野生植物館. 小学館, 東京, p. 194-223.
- R Core Team. (2017) R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing <http://www.R-project.org/>.
- Roberts DW(2016)labdsv: Ordination and multivariate analysis for ecology. R package version 1.8-0 <http://CRAN.R-project.org/package=labdsv>.
- 坂木正人(2010)クロマツ海岸林の防塩効果と植生の関連. 北九州市立大卒論: 1-55.
- 三里松原防風保安林保全対策協議会(2010)三里松原再生計画. 福岡, p. 1-3.
- 千木 容(2005)砂丘未熟土に自生が多い広葉樹苗三種のニセアカシアとの混植の影響. 石川林試研報 37 : 13-15.
- 島田和則・後藤義明・萩野裕章・鈴木 覚・野口宏典・坂本知己(2010)マツ枯れ発生地域のけるクロマツ海岸林の樹種転換のためのゾーニングの試案—クロマツ樹高を指標にした侵入樹種の適切な選択—. 海岸林学会誌 9(1) : 25-30.
- 島田和則・坂本知己・野口宏典・鈴木 覚・後藤義明・萩野裕章(2014)クロマツ海岸林に自然侵入した広葉樹の活用法—松枯れから守るための広葉樹林化—. (独)森林総合研究所 多摩森林科学園, 東京, p. 24-45.
- 品田 泰(1996)海岸緑化技術の検討—自然海岸林の耐潮風構造—. 農業電化 49(12) : 11-16.
- 高橋啓二・堀江保夫(1965)植物の耐塩水性(1)—防潮林構成植物選定のための実験—. 林試研報 183: 131-151.
- 武田 宏・金子岳夫(2007)海岸防災林における常緑広葉樹の植栽成績. 新潟森研研報 48: 103-114.
- 津田裕司・細田浩司・横堀 誠(2008)マツ材線虫病に強い海岸林の造成に関する研究—針広混交林化に適する樹種と苗木植栽前の土壌改良—. 茨城林技セ研報 28 : 1-30.
- 和田 覚・白沢芳一(1998)秋田県における海岸広葉樹林の林分構造. 東北森林科学会誌 3(2) : 9-12.
- 八神徳彦(2005)石川県における海岸林植生と樹種転換に適した樹種の選定. 石川林試研報 37 : 1-8.
- 山中啓介・井ノ上二郎(2010)島根県海岸部における広葉樹の生育実態. 森林応用研究 19(1) : 17-23.
- 山中典和・川崎絵里子・玉井重信(2005)鳥取県における海岸クロマツ林の林分構造と広葉樹の侵入状況. 森林応用研究 14 : 27-33.
- 渡部公一・上野 満・伊藤 聡・林田光祐(2014)海岸風衝地におけるクロマツと落葉広葉樹の混交林造成方法の検討. 海岸林学会誌 13(2) : 67-72.