

研究資料 (Research Record)

徳島県「大里松原」海岸林におけるクスノキ成木の30年間の肥大成長過程
—隣接個体と気象条件の影響—大谷 達也^{1)*}

要旨

海岸林に植栽された広葉樹の長期にわたる成長過程を解明するため、徳島県海陽町の大里松原において高潮で枯れ伐倒処理されたクスノキ8本の年輪解析をおこなった。地上高0.3 mで円盤を採取し東西南北4方向の毎年の年輪幅を測定した。31年から37年の年輪を数えることができ、年輪幅の個体ごとの平均値は 5.5 ± 2.6 mmから 12.0 ± 4.6 mm、全体の平均値は 9.4 ± 4.1 mmであった (\pm sd)。地上高0.3 mと胸高の直径の比率から、8本のクスノキは30年間で胸高直径 47.3 ± 9.6 cmに達したと推定された。これらのクスノキは最近隣個体までの距離が平均5.2 mと疎な環境で生育したため、旺盛な肥大成長を示したと考えられた。

キーワード：個体間距離、肥大成長、年輪解析、台風

1. はじめに

2011年東日本大震災を含め過去の津波災害の事例から、海岸林が津波に対して水流の減衰や浸水域の縮減といった一定の減災効果をもつことが示され (Tanaka et al. 2013, 佐々木ら 2013)、津波対策の多重防御のひとつとして海岸林を活用することが提案されている (大平ら 2016)。そのため、近い将来に発生が予測されている南海トラフ地震 (内閣府 2022) に備えて、西日本の太平洋岸では既存の海岸林を健全に保ち減災機能を高めておくことが望まれる。一方、これまでにクロマツを主体として整備されてきた日本の海岸林は、生活様式の変容やマツ材線虫病の蔓延で傷んでいる場合も多い。そのような状況において、Eco-DRRやグリーンインフラといった考え方も提唱され (一ノ瀬 2015)、広葉樹を海岸林に導入することが模索されている (中島 2021)。

しかし、クロマツに比べて広葉樹を海岸林に植栽した事例は少なく、海岸林における広葉樹の成長過程を数十年におよぶ長期データから実証した例も少ない (例えば、金子・田村 2007, 山口・中田 2008)。およそ100年から200年ごとに繰り返し起こることが知られる南海トラフ巨大地震は、過去に西日本の太平洋岸に広く津波被害をもたらしており (石橋 2014)、2023年時点で前回発災からすでに77年あるいは79年が経過した。近い将来に起こり得る巨大地震による津波に備えて海岸林を整備するならば、広葉樹の植栽木が20年から30年ほどの時間でどれほどの大きさに育ちうるのかという情報は有意義だろう。

徳島県海陽町の大里松原では、2019年10月に台風19号が沖合を通過することによって高潮が発生して、海寄り半分の立木が大規模に枯死し (前岡ら 2021, 大谷 2021)、

枯死木はその後には伐倒処理された。処理木には1980年代に植栽されたクスノキ (海南町史編さん委員会 1995) が含まれると考え、海岸林に植栽された常緑広葉樹の年輪解析のための円盤サンプルを得た。そこで、海岸林に植栽されたクスノキの成長過程の実例として、肥大成長と気象要因の関係や30年間で到達しうる胸高直径について報告する。このような情報は、海岸林の再生が急がれる大里松原にとっても重要であろう。

2. 材料と方法

大里松原は徳島県海部郡海陽町にあり、長さ約2 km、林帯幅約120 mで南東向きに海に面している (北緯 $33^{\circ}36'36''$ 、東経 $134^{\circ}22'14''$)。四国東部の太平洋岸では礫浜が多く (須藤・有田 2006)、大里松原は直径数cm以上の大きな円礫を含む砂礫上に成立している。大里松原から西へ1.6 kmに位置する気象庁海陽観測所によれば、年間降水量3178.2 mm、年平均気温 16.5°C である (2009年から2019年の平均値、気象庁 2023)。大里松原はかつてクロマツで構成されていたが、マツ材線虫病によるクロマツ枯損に対応して1985年からの3年間でクスノキ・タブノキ・ケヤキ・アカシア・ヤマモモが部分的に植えられた (海南町史編さん委員会 1995)。その後はクスノキが大きく成長し、2018年の毎木調査による胸高断面積合計の割合では、クロマツ38%、クスノキ47%、ヤマモモ9%、ケヤキ5%、およびエノキ0.5%となっており (大谷 未発表)、海寄りではクロマツ、内陸寄りではクスノキがおもに樹林を構成していた。2019年10月の台風19号が沖合を通過した際に高潮が発生し、海岸林の半分にあたる約12 haが24時間以上にわたって冠水した (前岡ら 2021, 大谷 2021, 斎藤 私

原稿受付：令和5年1月23日 原稿受理：令和5年3月29日

¹⁾ 森林総合研究所 四国支所

* 森林総合研究所 四国支所 〒780-8077 高知市朝倉西町 2-915、E-mail: tatsuyao@affrc.go.jp

信)。その後、クスノキは速やかに葉を落とし枯死するとみられたが、一部には胴吹きする個体もあったため、萌芽再生することを期待して2020年の秋期に地上高1.0 mから1.5 mの幹を残して伐倒された。しかし、胴吹きした枝葉も数ヶ月以内に枯れ、個体として完全に枯れたと判断された。

本報告での試料採取にあたっては、このような地上高1.0 mから1.5 mで伐倒された後に完全に枯死した切り株を、地上高0.3 mで再び水平に伐って円盤を採取した。2022年7月、9月、および12月に順次3本、2本、および3本と計8個体の円盤を採取した。この8本のクスノキは互いに3.5 mから19 mの距離をおいており、いずれも海岸林の海寄り最前線から70 mから80 m、内陸側の海岸林後端からは30 mから40 mの場所にあった。採取した円盤を室内で約1ヶ月間風乾させた後、紙やすりで磨き東西南北の4方向についてスケールルーペ (Peakルーペ10×、No. S) を使って毎年の年輪幅を0.1 mm単位で計測した。完全な個体死ののち1年半から2年後に円盤を採取したと考えられたが、いずれの円盤でも材は腐朽しておらず年輪を鮮明に読み取ることができた。

地上高0.3 mでの直径 (D0.3) を胸高直径 (DBH) に換算するため、円盤を採取した切り株の内陸側に生育するクスノキ20本について、地上高0.3 mと胸高での幹周囲長をスチールメジャーで測定し、その比率を算出した。隣接個体が成長におよぼす影響を検討するため、円盤を採取した個体を含めて周辺木の個体間距離をレーザー距離計 (Leica Disto D210) で測定した。過去の気象条件と肥大成長との関係を検討するため、気象庁webページから日和佐観測所での観測値を得た (大里松原から北東へ20.4 km、大里松原と同様に南東向きに海に面した場所)。なお、大里松原に最寄りの気象観測所は海陽観測所であるが、ここは2009年開設のため、後述のとおり円盤を採取したクスノキが植栽されたと考えられた1980年代からの気象データを得るため日和佐観測所を選択した。過去に四国に接近した台風を気象庁webページで、大里松原の50 km以内に接近した台風を「デジタル台風」 (北本 2022) で検索した。

統計解析にはR 4.2.1 (R Core Team 2022) を使用し、各個体の毎年の年輪幅について経時変化の傾向をみるためにスプライン平滑化をおこなった (mgcvパッケージのgamおよびs関数)。

3. 結果と考察

8個体の円盤のもっとも外側を2019年の成長として年輪を数え、Fig. 1には毎年の年輪幅を2019年からさかのぼって個体ごとに示した。No. 7のみ37年、残り7個体は31年から33年の年輪を数えることができた。すなわち、1983年、および1987年から1989年にD0.3が数mmになっており、「海南町史 (下巻)」 (海南町史編さん委員会 1995) にあるように1985年からの3年間にクスノキを含む広葉樹を

植えたとする記述と合致する。ただしNo. 7のみ1985年以前に発生しており、海南町史の記録よりも早くに植栽されたか、自然に定着したものと考えられる。いずれの個体も最初の数年間は数mmの年輪幅であるが、6年が経過するまでには10 mm前後の年輪幅を示した。その後、スプライン平滑化で示された変化の傾向は各個体で異なっており、No. 2は初期には旺盛な成長を示したものの、2000年以降は年輪幅が減少したままで、生育期間を通した年輪幅の平均値は8個体の中で最も小さく 5.5 ± 2.6 mm (平均 \pm sd) となった。No. 1や6では期間の前半は年輪幅の増加、後半には減少傾向を示し、年輪幅の平均値は順に 8.7 ± 2.8 mmおよび 9.4 ± 4.4 mmだった。残りの5個体では初期には年輪幅が急速に増加したのち、減少と再びの増加を示した。個体ごとの年輪幅の平均値ではNo. 7が 12.0 ± 4.6 mmと最も大きく、次いでNo. 3と4が順に 10.6 ± 3.5 mmと 10.5 ± 3.6 mmとなった。8個体すべての年輪幅の平均値は 9.4 ± 4.1 mm ($n = 260$) であった。なお、No. 8の1999年の年輪幅が20 mmを越える大きな値となったが、樹幹の測定部位に傷があり、これを巻き込むための特異的な肥大成長が原因である。

8個体のクスノキそれぞれの最近隣個体はいずれもクスノキであり、最近隣個体までの距離は 5.2 ± 2.5 m ($n = 8$) であった。最近隣個体以外の周辺木も含めた個体間距離は 8.5 ± 4.4 m ($n = 22$) であった。No. 2はNo. 4と近接しており個体間の距離は3.5 mだった。このため、No. 2はNo. 4からの被圧により成長量が減少したと推察された。No. 1と5も別のクスノキがそれぞれ2.3 mと2.8 mの距離にあったが、自身よりも小個体であったため成長量の低下は軽微だったと考えられた。

各年の年輪幅の経時変化をみると、2005年の成長量は前年までの成長量やスプライン平滑化で示された傾向に比べて、すべての個体で共通して小さかった (Fig. 1)。過去の気象条件をみると、2004年には四国に接近した台風が9個、そのうち大里松原の50 km以内に接近した台風が5個と、四国および大里松原に接近した台風が特異的に多かった (Fig. 2a)。月ごとの最大風速でも2004年6月から10月まで毎月20 m/s前後の値を記録しており、ほかの年にはない特徴である (Fig. 2b)。2004年には台風4号、6号、11号、21号、および23号が大里松原の50 km以内を通過したが、11号以外の4個が高知県東部の室戸市や安芸市に上陸し大里松原の内陸側をおおむね北東方向に進んだ。台風がこのような進路をとると大里松原には塩分を含んだ海風が強く吹くことになるので、繰り返しの台風の襲来で樹冠が傷んだと推察される。さらに、2005年には年間降水量、6～8月夏季降水量ともに図示した37年間で最低値を示しており (Fig. 2c, d)、前年の台風で樹冠が傷んだことに加えて当年成長期の水分条件が厳しかったことによっても、2005年の成長量が低下したと推察された。そのほかの年では、1994年から1996年、2009年から2010年、および2015年から2017年の3期間においても、それ

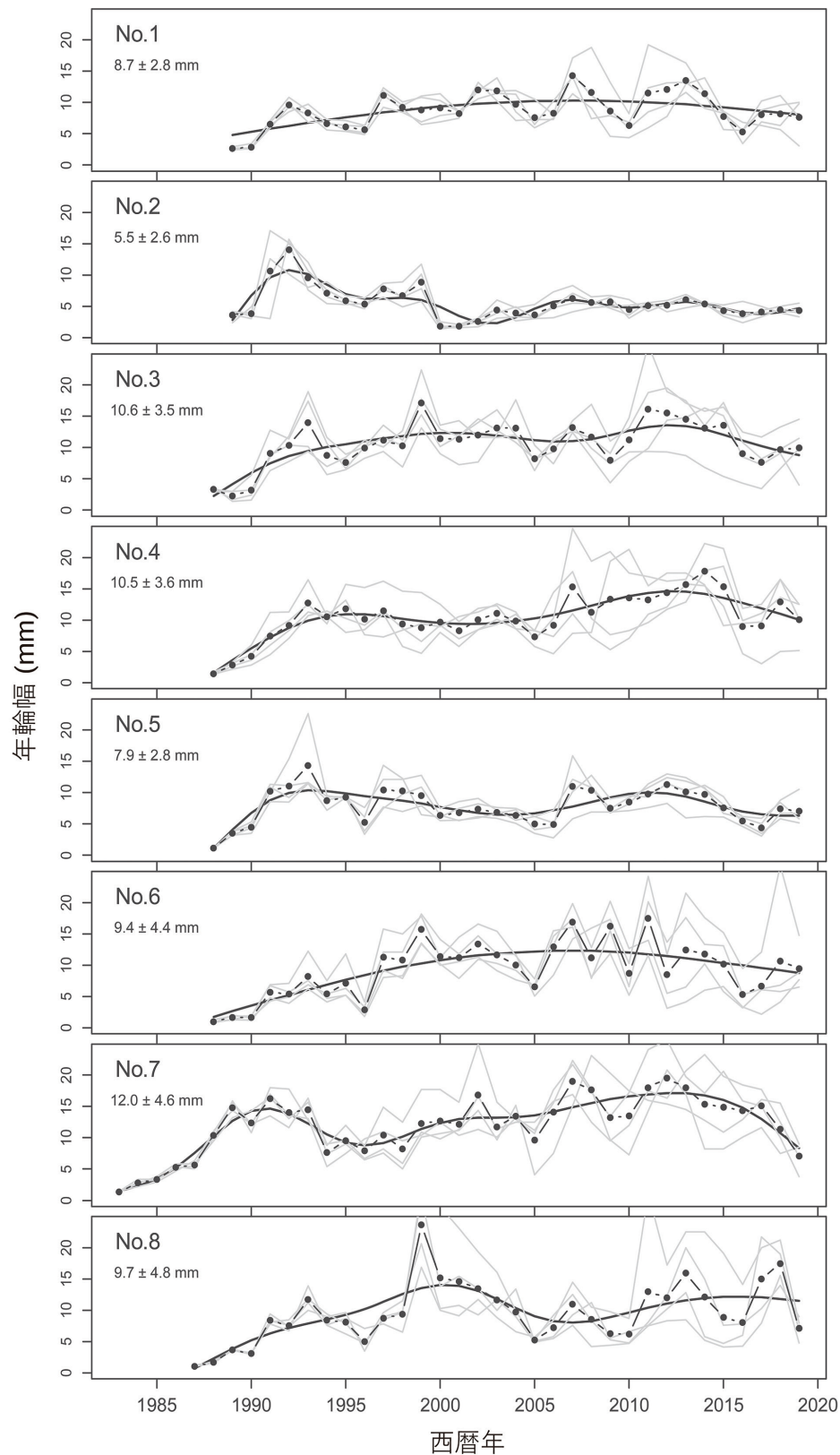


Fig. 1. 大里松原海岸林に生育していたクスノキ 8 個体の年輪幅の経時変化

8 個体のそれぞれについて、東西南北 4 方向の年輪幅 (灰色折れ線)、その平均値 (黒丸および黒折れ線)、およびスプライン平滑化のあてはめ (黒曲線) を示した。台風の高潮で枯死した 2019 年からさかのぼって描画した。各グラフの左上には、個体番号、および年輪幅の平均値と sd を示した。

ぞれ5個体あるいは6個体が成長量低下の傾向を示している (Fig. 1)。2014年には2個 (11号および19号)、2015年には1個 (11号) の台風が前述と似た進路をとり、2014年8月には22.9 m/s、2015年7月には29.7 m/sの最大風速を記録しているので (Fig. 2b)、大里松原も強い海風を受けたと考えられる。しかし、1993年と1994年には順に台風14号と26号が紀伊半島に上陸したものの、1995年前後や2009年前後には前述のような進路をとった台風はなかったので、クスノキの成長量低下を招いた主要な原因は台風以外にあるものと推察された。1994年夏季には、四国を含め全国的に記録的小雨となり農林業被害を招いた (小谷 1996)。日和佐観測所では1994年夏季が記録的小雨とはいえないものの1994年から3年間は夏季小雨の傾向が続いており (Fig. 2d)、No. 3、5、7、および8の1994年からの成長量低下に影響したかも知れない。一方、2008年と2009年には大里松原に接近した台風はなく夏季の小雨も認められないので (Fig. 2a, d)、No. 1、3、5、7、および8の2009年の成長量低下については台風や小雨以外の要因が考えられる。

円盤を採取した枯死木の周辺に生残するクスノキ20本 (DBH 42.6 ± 7.9 cm) について、D0.3とDBHの比率を算出したところ、 $DBH/D0.3 = 0.857 \pm 0.03$ となった。これによりクスノキ枯死木の各年のD0.3からDBHを推定し、経

年変化を示すとFig. 3のようになった。30年間で到達するDBHをみれば、No. 2は28.6 cmと最小値、No. 7は59.7 cmと最大値を示し、平均 47.3 ± 9.6 cm ($n = 8$) となった。同様に20年では 29.3 ± 4.5 cm、10年では 12.4 ± 2.1 cmとなった。地上高0.3 mでの平均年輪幅9.4 mmをDBHの増加速度に換算すると、16.1 mm/年になった。クスノキの肥大成長については、神奈川県湯河原町で樟脳生産を目的に造成された74年生林分の記録があり、DBHの増加速度6.1 mm/年、30年間でDBH 19.0 cmと報告されている (中川 1985)。この林分では個体間の距離は約3 mとなっており、これに比べて、円盤を解析した大里松原のクスノキは個体間距離5.2 mまたは8.5 mと疎な環境で生育したといえる。大里松原のクスノキは海岸林の内陸寄りで個体間距離を十分にとって生育したため、砂礫上であっても旺盛な肥大成長を示したと考えられ、今後の植栽事業においてもクスノキを適切に植栽すれば20年から30年程度の期間で海岸林としての機能を発揮できるサイズにまで成長することが期待される。ただし、上陸津波を想定した水流減衰効果のシミュレーションでは、林齢が高くなることで樹木が大径化して立木密度が下がった場合、中径木が高密度で生育する状態よりも効果は低下するという結果が示されている (浅野ら 2014)。そのため、海岸林の内陸寄りにクスノキを植栽して単木の旺盛な成長を期待する際には、津波への減災効果を視野に入れ植栽間隔を慎重に検討する必要がある。

謝辞

試料の採取にあたり大里自治会の協力を得た。とくに斎藤正氏には台風被害の情報を提供いただいた。この調

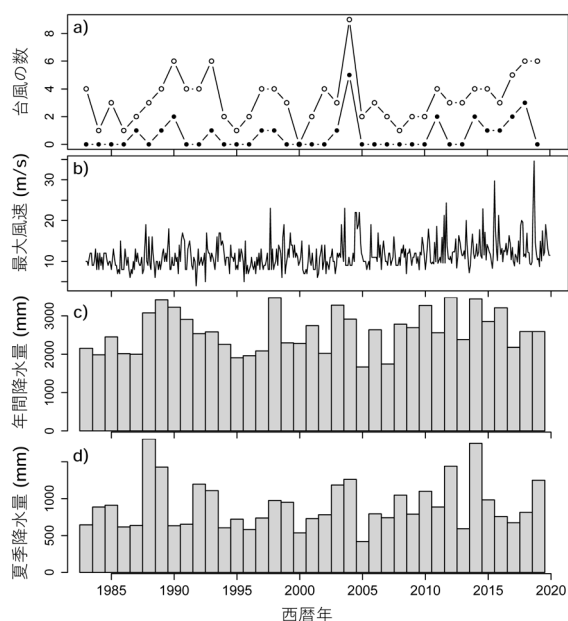


Fig. 2. 1983年から2019年までの徳島県南部における台風、強風、および降水の状況

a) 四国および大里松原に接近した年ごとの台風の数 (順に白丸および黒丸)、b) 月ごとの最大風速 (m/s)、c) 年間降水量 (mm)、d) 各年の6月から8月までの降水量 (mm)。a) において四国に接近とは四国4県内のいずれかの気象官署等の300 km以内を、大里松原に接近とは大里松原の50 km以内を台風が通過したことをさす。b) から d) については気象庁日和佐気象観測所での記録による。

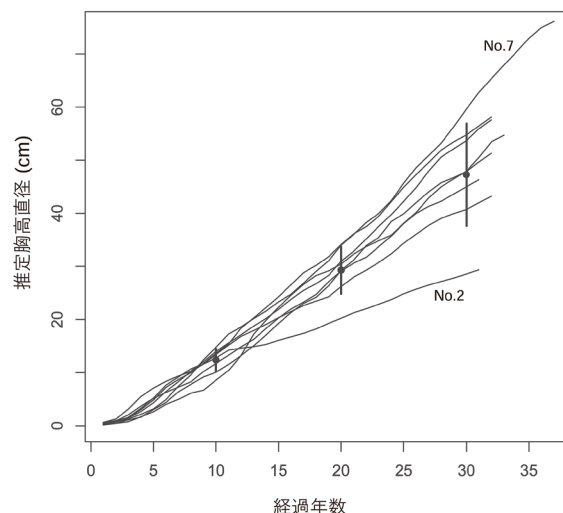


Fig. 3. 大里松原海岸林におけるクスノキの胸高直径成長過程の推定

8個体のクスノキについて地上高0.3 mの年輪幅から算出した直径を胸高直径に換算した。10年目、20年目、および30年目の胸高直径推定値の平均とsdを示した。

査には森林総合研究所「産学官地域連携推進費」を充てた。

引用文献

- 浅野 敏之・永山 裕也・松尾 俊平 (2014) 海岸林の時間的生長を考慮した津波減衰効果に関する数値解析. 土木学会論文集B2(海岸工学), 70, I_1206-I_1210.
- 一ノ瀬 友博 (2015) 人口減少時代の農村グリーンインフラストラクチャーによる防災・減災. 農村計画学会誌, 34, 353-356.
- 石橋 克彦 (2014) 南海トラフ巨大地震. 岩波書店, 260pp.
- 海南町史編さん委員会 (1995) 海南町史 (下巻). 徳島県海部郡海南町, 1411pp.
- 金子 智紀・田村 浩喜 (2007) 広葉樹を活用した海岸防災林造成技術の開発. 秋田県森林技術センター研究報告, 17, 37-60.
- 気象庁 (2023) “過去の気象データ・ダウンロード”, <https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>, (参照2023-1-10).
- 北本 朝展 (2022) “デジタル台風：台風画像と台風情報”, <http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/>, (参照2023-1-9).
- 小谷 英司 (1996) 1994年夏季少雨が年輪成長に与えた影響. 四国情報, 16, 2.
- 前岡 夏槻・岡 浩平・山中 亮一・鎌田 磨人・吉崎 真司 (2021) 高潮による海水浸漬を受けた海岸林における樹種別の応答の比較. 日本緑化工学会誌, 47, 111-116.
- 内閣府 (2022) “南海トラフ地震対策”, <https://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/index.html>, (参照2023-1-9).
- 中川 重年 (1985) 湯河原町鍛冶屋のクスノキ林の成長. 神奈川県林業試験場研究報告, 11, 11-18.
- 中島 有美子 (2021) 海岸林の広葉樹の評価と導入の可能性. 日本緑化工学会誌, 47, 240-244.
- 大平 浩之・林 晃大・山下 啓・今村 文彦 (2016) 宮城県岩沼市における海岸林を活用した多重防御の津波被害軽減効果. 土木学会論文集B2(海岸工学), 72(2), I_1459-I_1464.
- 大谷 達也 (2021) 台風による砂礫堆積物へのクロマツコンテナ苗植栽における園芸培土混入の有効性. 日本森林学会誌, 103, 361-366.
- R Core Team (2022) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- 斎藤 正, 海陽町, 私信.
- 佐々木 寧・田中 規夫・坂本 知己 (2013) 津波と海岸林—バイオシールドの減災効果—. 共立出版, 232pp.
- 須藤 定久・有田 正史 (2006) 砂と浜の地域誌 (9) 室戸岬から甲浦・穴喰を訪ねる. 地質ニュース, 623, 55-64.
- Tanaka, N., Yagisawa, J. and Yasuda, S. (2013) Breaking pattern and critical breaking condition of Japanese pine trees on coastal sand dunes in huge tsunami caused by Great East Japan Earthquake. Nat Hazards, 65, 423-442.
- 山口 友平・中田 誠 (2008) 市街地に隣接した海岸クロマツ林における常緑広葉樹の侵入と成長—新潟県新潟市の事例—. 海岸林学会誌, 7, 7-15.

The thickening growth process of *Cinnamomum camphora* trees during 30 years in Ozato coastal forest, Tokushima, Shikoku Island—effects of the nearest neighbor and climate conditions—

Tatsuya OTANI^{1)*}

Abstract

Tree-ring analysis was performed for eight *Cinnamomum camphora* trees dead and fell after a typhoon storm surge at Ozato Matsubara coastal forest, Tokushima Prefecture, western Japan, to analyze the long-term growth process of broad-leaved trees planted in coastal forests. Tree-ring width in all four directions of the compass was determined on disk samples at 0.3 m ground height. Tree rings of 31 to 37 years were counted, and the mean tree-ring width of each individual ranged from 5.5 ± 2.6 mm to 12.0 ± 4.6 mm with an overall mean of 9.4 ± 4.1 mm (\pm sd). The diameter at breast height was determined to reach 47.3 ± 9.6 cm within 30 years of the establishment, by using the ratio of diameters at 0.3 m and breast height. The sparse planting interval of 5.2 m to the nearest neighbor was causally associated with the quick thickening growth of the *C. camphora* trees.

Key words : planting interval, thickening growth, tree ring analysis, typhoon

Received 23 January 2023, Accepted 29 March 2023

1) Shikoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

* Shikoku Research Center, FFPRI, 2-915 Asakuranishi, Kochi, Kochi, 780-8077 JAPAN; E-mail: tatsuyao@affrc.go.jp

森林総合研究所研究報告 第22巻2号, 2023 |