

## 海岸クロマツ林の土壌硬化

河口智志<sup>1</sup>・堀 良通<sup>2</sup>A study on the soil hardening of the coastal Japanese black pine (*Pinus thunbergii*) forestsSatoshi Kawaguchi<sup>1</sup> and Yoshimichi Hori<sup>2</sup>

**Abstract:** The coastal Japanese black pine forest is an artificial protection forest for coastal disaster prevention. The profile of soil hardness which influences on the root growth of the coastal Japanese black pines was examined in Kujukuri beach, Chiba Prefecture. The soil hardness was measured by soil penetrometer, Hasegawa type. The penetration value (S value) of soil became very small more than 70 cm in depth in the forest. The revegetation of the coastal sandy soil by Japanese black pines has been succeeded in Japan. It is important to investigate the influence of soil hardness on the growth of Japanese black pine forests because the sand fixation in the forests exceeding 30 years has increased in recent years.

## 1 はじめに

海岸砂地帯農業振興臨時措置法が1953年に制定された。これ以降、海岸砂丘地帯を農地として利用するために、砂丘造林が積極的に行われ(高谷,1991)、各地においてクロマツを主とする人工海岸林が砂丘上に育成された。かつて不毛の地とされてきた海岸砂丘は、飛砂対策をはじめとする緑化技術により「白砂青松」という我が国独特の景観を生み出し、今日では海岸景勝地として保護、保全がなされている。その結果、従来の海岸防災林としての目的とは別に、保健休養を兼ね備えた「生活環境保全林」としても、多面的な機能を期待されるようになった(小嶋, 1992)。

しかし、近年における我が国の経済基盤は再構築を余儀なくされ、その影響はすべての社会経済に大きな低迷をもたらし続けている。さらに海岸防災林を所管する旧営林署の統廃合など、国・県有のクロマツ海岸林にとって保育・管理上の諸問題が深刻化しつつある。

飛砂・潮風害をはじめ自然環境のきびしい条件にさらされている海岸クロマツ林は、高密度植栽(海岸防災林の早期鬱閉のために約1万本/ha)のため、そのままの放置状態が続くと、下枝が枯

れあがり幹が細い貧弱な形状になる(河口・堀,2001)。その結果、主に日本海側では冬季、太平洋側では台風等による強風のため風倒被害が発生している。さらに、松くい虫被害も徐々に北上を続けており、地域や場所によっては深刻な状態を呈している(高橋・野堀, 1999)。もともと緑化には不向き(樋渡, 1989)な砂地にクロマツを植栽しているが、飛砂により成立した海岸砂丘の砂の粒度は均一化しており、通気性が低く硬く締まった土壌となり、クロマツの根系の発育が妨げられるため、直根は伸びず側根で樹体を支える傾向にある(小田, 1979)。

本研究では、千葉県九十九里浜の海岸クロマツ林を事例として、砂質土壌地におけるクロマツの根の伸長による土壌軟化と樹木の単木重量が土壌硬化(佐々木, 2002)に及ぼす影響について検討するために、土壌貫入計による測定を行った。すでに全国各地で成林しているクロマツ林の今後の保育管理対策に新たな指標となりうるか、その可能性について報告する。

## 2 調査地の概況

調査地は千葉県九十九里浜の北部に位置する野栄(のさか)町の海岸クロマツ林(野栄保健保安林)(43.0ha)である。汀線からおよそ84mの位置、幅が約80mから110m、長さが約2,500mの林帯はクロマツによる単一樹種の保安林である。林内の地盤高は約1.6mで、高さが1mから2mの砂丘が形成されている(河口, 2000)。

<sup>1</sup>千葉県立成田西陵高等学校 Naritaseiryō High School, 20 Manzaki, Narita, Chiba, 286-0846 Japan

<sup>2</sup>茨城大学理学部 Faculty of Science, Ibaraki University, Mito, Ibaraki, 310-8512 Japan

クロマツ林の立木密度は前縁から20m地点で1万本/ha, 50mで5,500本/ha, 100mで3,400本/ha, 樹齢はおよそ12年生から35年生のものまでである。樹高は20m地点で3.8m±0.2m(平均値±標準偏差), 50m地点で6.1±0.2m, 100m地点で7.9±1.1mである(河口・堀, 2003)。

### 3 調査方法

#### 3.1 海岸クロマツの形状

海岸林内のクロマツの形状を求めるために, 林帯の最前縁部を0m地点としてそれ以降10m間隔のライントランセクト法によりクロマツをランダムに選定し, 合計10ポイントの測定地点から樹高, 枝下高, 胸高直径(DBH)を測定した。また, 10m方形区内の立木本数から1haあたりの立木密度を算出した。

#### 3.2 土壌の粒度分析

海岸林内の土壌を大型検土杖により深さ20cmごとに100 cm まで採取を行い, その試料を2000, 1000, 710, 500, 250, 149, 105, 74 $\mu$ mの8段階のふるいを用いて粒径を測定した。得られた結果を粒径加積曲線に表した。その分析結果から, 10%粒径 $D_{10}$ (mm), 30%粒径 $D_{30}$ (mm), 60%粒径  $D_{60}$ (mm)の値を読みとり, 均等係数(Uc)と曲率係数(Uc')を次式より求めた。

$$Uc = D_{60} / D_{10}$$

$$Uc' = (D_{30})^2 / D_{10} \cdot D_{60}$$

#### 3.3 土壌のpH, ECおよび硬度

各地点で $A_0$ 層を除去し, そこから5cmと10cmの深さまでの試料よりpHと電気伝導度EC( $\mu$ S/cm)を求めた。

土壌硬度測定は, 長谷川式土壌貫入計を使用し, 深度は $A_0$ 層を除いた $A_1$ 層以深を0地点とし, そこから100cmまで5cmごとの貫入値S(硬度)を求めた。S値は2kgのハンマーを使用し, 貫入ロッドの先端の円錐コーンが土中に貫入したときの貫入抵抗から得られる相対的な硬さである。土壌貫入計を用いた測定位置は, クロマツの根元からおよそ1m離れた場所である。土壌硬度の値の変化をみるために, クロマツ林内と非植生地である前砂丘においても測定を行った。また, 測定時期は降雨量が比較的多い8月と少ない11月の2回行った。なお, この場合の硬度は深さ100cmまで測定したものである。

### 4 結果と考察

#### 4.1 クロマツの形状と立木密度

各測定地点の樹高, 枝下高, 胸高直径(DBH)の平均値と標準偏差(SD)を表1に, 立木密度を表2に示した。

0m地点のクロマツは, 10m地点のクロマツより形状が大きい。これは, 前砂丘の後背地点に植栽されたため, 海側からの風の影響を受けにくい環境が影響したものと考えられる。樹高と枝下高および胸高直径の関係をそれぞれ図1, 2に示した。80m地点の樹高が最も高く8.5±0.5m, 立木密度は1,700本/haと測定地点の中では最も低密度であった。全体的に樹高が高くなると枝下高も高くなるという関係がみられた。また, 樹高5~6mをさかいに, それ以上の樹高に対しての胸高直径は10cm以上のばらつきがみられた。これは, クロマツの葉数のちがいににより栄養成長に差が生じたためと, 根系状態に何らかの影響が及んだものと推察される。

表1. クロマツ林の形状

測定地点 (m)	樹高 (m)	枝下高 (m)	胸高直径 (cm)
0	5.0 ± 0.5	2.5 ± 0.5	10.4 ± 2.5
10	2.5 ± 0.7	0.5 ± 0.3	5.0 ± 2.8
20	3.7 ± 0.1	1.9 ± 0.2	8.4 ± 1.7
30	3.8 ± 0.2	2.0 ± 0.2	10.3 ± 1.9
40	4.5 ± 0.3	2.6 ± 0.3	9.9 ± 1.0
50	5.5 ± 0.4	3.2 ± 0.3	11.1 ± 2.7
60	6.6 ± 0.3	4.0 ± 0.2	11.6 ± 1.1
70	8.0 ± 0.4	5.1 ± 0.5	13.9 ± 3.4
80	8.5 ± 0.5	4.6 ± 0.7	14.2 ± 3.7
90	8.2 ± 0.4	4.1 ± 1.0	14.7 ± 3.4
100	8.2 ± 0.4	4.0 ± 1.0	12.8 ± 2.3

(平均値±SD)

表2. クロマツ林の立木密度

測定地点 (m)	立木密度 (/ha)
0	3,600
10	5,100
20	3,300
30	3,200
40	3,000
50	3,400
60	2,400
70	2,300
80	1,700
90	1,900
100	1,800

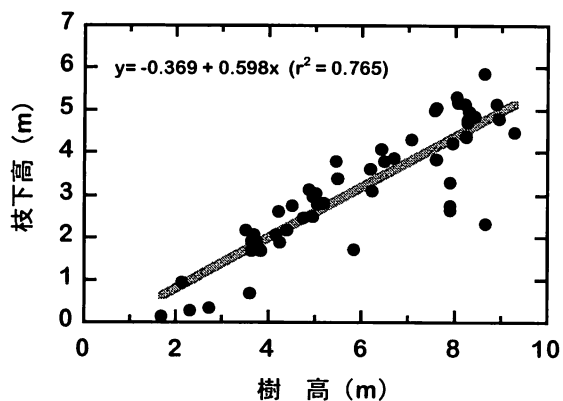


図1. 樹高と枝下高の関係

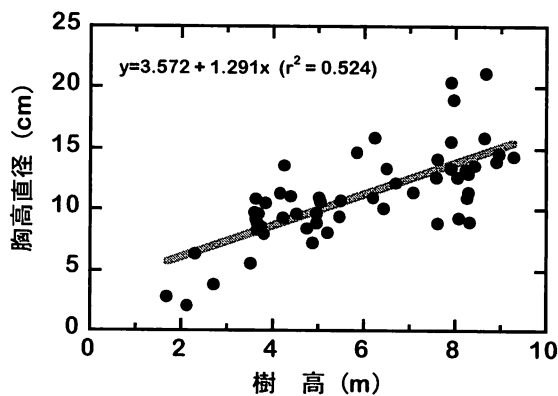


図2. 樹高と胸高直径の関係

クロマツ林の平均樹高は、70m地点の枝下高率（枝下高/樹高×100）が最も高く64.3%、胸高直径は13.9±3.4cmと10mから60m地点までのものと比較すると幹が太くなった。

#### 4.2 土壌の理化学性

測定地点別のpHは、0m地点で6.5～6.1、50m地点で5.5～5.9、100m地点で4.9～5.7であった。ECは10m、

20m地点で230～200μS/cmとやや高い値を示したが、深度10cmにおいては40～30μS/cmときわめて低い値を示した（表3）。また、汀線から前砂丘頂まで測定したpHは、8.0～8.9のアルカリ性を示し、ECについては汀線で3,400μS/cm、前砂丘頂では10μS/cmときわめて小さな値であった。これらのことは、前砂丘とクロマツ林帯による防風・防潮効果が十分に発揮されているのではないかと考えられる。

表3. 土壌のpHと電機伝導度（EC）

測定地点 (m)	pH 深度 (cm)			EC (μS/cm) 深度 (cm)		
	A <sub>0</sub> 層	5	10	A <sub>0</sub> 層	5	10
0	6.5	6.6	6.1	140	50	40
10	5.8	6.4	6.4	230	100	40
20	5.8	6.1	6.2	200	40	30
30	5.6	5.3	5.8	130	50	30
40	5.5	5.3	5.6	140	80	20
50	5.5	5.7	5.9	180	40	10
60	5.1	5.8	5.8	110	10	10
70	5.2	5.1	5.5	90	40	20
80	5.1	5.1	5.2	110	40	40
90	5.5	5.4	5.3	60	20	10
100	4.9	5.1	5.7	110	20	10

#### 4.3 土壌の粒度分析

汀線砂とクロマツ林内の土壌（A<sub>0</sub>層を除く）を比較した場合、D<sub>30</sub>、D<sub>60</sub>の通過重量の粒径においては、海風の影響による結果からよく分級されており、クロマツ林内ではD<sub>30</sub>が0.135、D<sub>60</sub>が0.190と汀線砂のほ

ぼ半分になっている（表4）。また、林内のA<sub>0</sub>層を除く砂質土壌の粒径組成は均等係数 1.79、曲率係数 1.0が示すように、きわめて良く揃った粒径をした砂から成り立っていることが明らかになった（河口・堀、2002）（図3）。

表4. 粒度分析

		粒径組成 (mm)			均等係数	曲率係数
		D <sub>10</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>60</sub>	Uc	Uc'
野栄海岸	汀線	0.19	0.27	0.37	2.0	1.0
	前砂丘頂	0.15	0.21	0.29	2.0	1.0
野栄海岸林	クロマツ林内	0.11	0.14	0.19	1.79	1.0

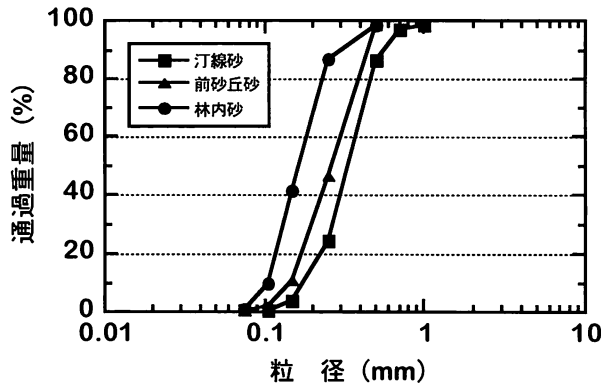


図3. 粒径加積曲線

#### 4.4 土壌貫入試験

貫入値 (S) は、深度10cmから60cmまでは、各地点とも前砂丘地でのS値より大きい値を示した。深度70cmになるとS値はほぼ1.3以下となり100cmでもその値はほとんど変化しなかった。つまり、クロマツ林内の土壌硬度は深度およそ70cmあたりから樹の根の伸長が困難な硬さになっていた。前砂丘の硬度S値はおおよそ深度70cmまでは林内のS値より小さく、とくに8月に測定した結果と11月の結果(図4)では、深度70~80cm以深は林内よりS値が大きくなっている。以上のことから、次のようなことが考えられる。樹木が成長し、単木の重量がある重さになると、その重量で深さ70cmあたりからの砂が押し固められ、硬さが増す。これを、砂地の地表面に集中荷重が作用すると仮定し、ブーシネスクの弾性理論に基づいて鉛直方向の増加応力 ( $\Delta\sigma_z$ ) が次式より求められる(岩佐・赤井, 1999)。

$$\Delta\sigma_z = K \cdot P/Z^2$$

K: ブーシネスク係数 ( $r/Z$ )

r: 載荷点からの距離 (m), Z: 深さ (m)

P: 集中荷重 (kg)

鉛直方向の場合:  $r=0m$ ,  $Z=1m$ ,  $K=0.4775$

半径1m方向の場合:  $r=1m$ ,  $Z=1m$ ,  $K=0.0844$

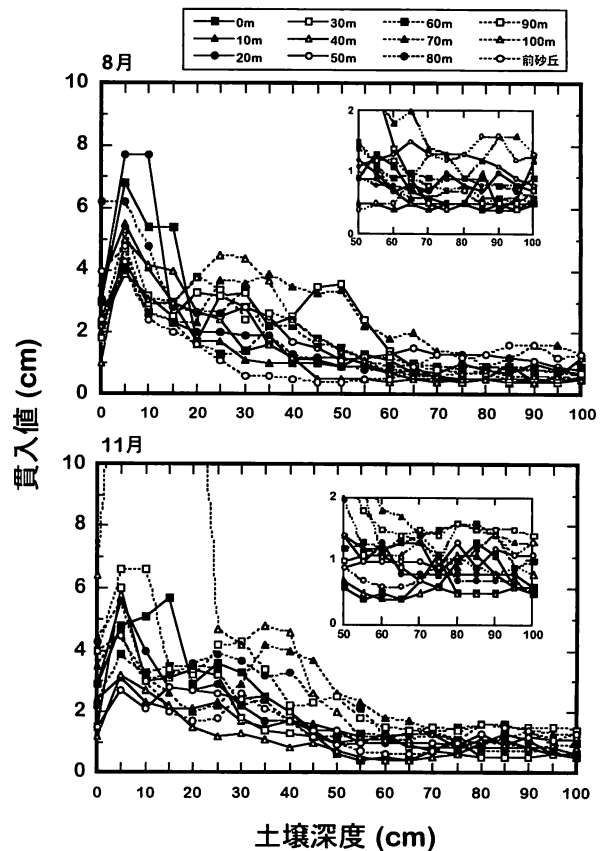


図4. 深度別貫入値

例えば、重量（集中荷重）が 200kg の針葉樹（樹齢 24年、胸高直径15cm、樹高9mのスギ）の場合、鉛直方向の増加応力は地下1mでは、1m<sup>2</sup> あたり約95kg、半径1m方向の増加応力は約16kgとなる（高谷, 1987）。

今回の調査では、実際に調査地のクロマツの重量は測定できなかったが、針葉樹のスギとほぼ同じ重量であると仮定した場合、深度70cmから100cmのS値の結果は（図4）、粒径の揃った砂がクロマツの成長にともない、その場所の地中に対しての増加応力が生じたため土壌硬度がきわめて硬い値を示したと考えられる。これを土壌硬化現象とよび、海岸クロマツ林（保安林）の主根および水平根の伸長を妨げる。さらには、細根の発生が抑制され、クロマツ個体の健全度が低下すると考えられる（Thomas, 2001）。

## 5 まとめ

防災目的に植栽されたクロマツは、目的とすべき機能を発揮するため林帯における樹冠の早期鬱閉をはかってきた。その後の密度管理も、樹高、枝張り伸長とともにほぼ適切に行われてきたように伺える。そのため、クロマツ林についての調査、研究は多数報告されてきたが、根の伸長に関する事例的研究報告は極めて少ない。これは、全国各地の海岸砂防林のうちクロマツを主林木とする林帯をつくりあげることが目的にし、個体の健全な成長については、ほとんど考慮されてこなかったことが主な理由ではないかと推察される。しかし、今後は海岸砂丘砂質土壌のクロマツの成長による土壌硬化が、林帯の成長過程に重要な影響を与えること、例えば気象現象による風倒被害などが十分に予測される。著者らは、この問題点を踏まえ、土壌硬度計をさらに有効に活用することで、防潮林におけるクロマツの根系生態について明らかにできるものと考えた。しかし、今回の試験結果は限られた場所でのデータであるため、さらに異なる地域での測定が必要である。

## 引用文献

[1] 樋渡達也 (1989) : 海岸の緑化『最先端の緑化技術』ソフトサイエンス社, pp.173-174.

[2] 岩佐義朗・赤井浩一 (1999) : 『土質力学入門』

実教出版, pp.60.

[3] 河口智志 (2000) : 海岸防災林におけるクロマツの樹高と枝下高の関係, 52回日林関東支論, pp.139-140.

[4] 河口智志・堀 良通 (2001) : 海岸防災林におけるクロマツの樹高と枝下高の関係(II)－立木密度によるクロマツの形状－ : 53回日林関東支論, pp.183-184.

[5] 河口智志・堀 良通 (2002) : 海岸砂丘における土壌貫入試験によるS値の変化について－人工海岸クロマツ林の根系分布調査への応用－, 日本砂丘学会誌, 48(3), pp.124-125.

[6] 河口智志・堀 良通 (2003) 九十九里浜における海岸クロマツの形状特性（予報）－野栄保健保安林を事例として－千葉生物誌 (2), pp. 67-70.

[7] 小嶋陸雄 (1992) : 『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, pp.361.

[8] 小田隆則 (1979) : 海岸クロマツ林の成長と密度について(III)－クロマツ根系の分布と量－ : 90回日林論, pp.459-461.

[9] 佐々木真二郎 (2002) : 北海道石狩海岸における車両の走行が植生と土壌に及ぼす影響, 2002 日本造園学会北海道支部大会研究・事例報告会抄録, pp16.

[10] 高橋教夫・野堀嘉裕 (1999) : 海岸林の松くい虫被害の拡大経過『日本海沿岸北部海岸林の潜在植生導入による保全技術』pp.87-96.平成8-10年度文部省科学研究費補助金基盤研究(B)(2)研究成果報告書（研究代表者、中島勇喜）。

[11] 高谷精二 (1987) : 『のり面保護工の基礎と応用』山海堂 pp.29.

[12] 高谷精二 (1991) : 『砂防学概論』鹿島出版会, pp.174.

[13] Thomas A. Peter (2001) 『Trees: Their Natural History』 Cambridge University Press, Cambridge. 熊崎 実・浅川澄彦・須藤彰司 訳 : 『樹木学』築地書館, pp.71-83.

〔受付 2003年1月15日, 受理 2003年6月10日〕