

# 海岸クロマツ林モニタリング調査（第2報）

—マツ材線虫病の被害を受けた海岸地域における森林再生技術の開発—

2010年度～2014年度

中島寛文・小笠原祐介\*

## 要 旨

マツ枯れが深刻な渥美半島の海岸クロマツ林において、産地の異なる抵抗性クロマツ3種類（鹿児島県産、熊本県産、静岡県産）と常緑広葉樹であるウバメガシの植栽試験を行い、生育状況のモニタリング、立地環境、菌根菌（クロマツのみ）の調査を行った。抵抗性クロマツについては、植栽1年目における成長量が最も大きかったが、枯死率も最も高いことが分かり、かつ、生残率・成長量は、海側のプロットほど低かった。つまり、クロマツの植栽を考える上で、植栽1年目が特に重要な年であり、生残率・成長量の低い海側のプロットでは、防風柵等の対策が必要不可欠であると思われた。また、生残率・成長量の結果から熊本県産、静岡県産の抵抗性クロマツが本県に適していると考えられた。更に、クロマツ菌根菌の調査から、菌根数が多いと生残率が高まり、茶色及び白色の菌根数が多いと成長量が大きくなることが分かった。これらの菌根菌の有効活用により、抵抗性クロマツの生残率・成長量を更に高めることができるかもしれない。一方、ウバメガシについては、植栽1年目の枯死率が非常に高く、1年生苗を植栽したことによる活着不良が大きな原因であると考えられたので、2年生以上の苗木の植栽等を検討していく必要があるだろう。

## I はじめに

海岸林は、防災機能等の様々な公益的機能を持っており、その存在の重要性は、過去から現在にかけて多くの研究で述べられている（村井ら 1992、今井ら 2009、後藤ら 2012）。海岸林の主要な樹種であるクロマツ（*Pinus thunbergii* Parl.）がマツ枯れによって荒廃し始めてから、すでに数十年が経過しているが、海岸林におけるマツ枯れ被害は、今もなお深刻な状態にある。そのため、各地でマツ枯れ対策（薬剤の空中散布等）が行われているが、完全に防ぐことができていないのが現状である（e.g. 愛知県 2009）。

マツ枯れによって森林が消失した場所では、マツノザイセンチュウ（*Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner and Buhner) Nickle）に対して抵抗性を

持つクロマツ（以下；抵抗性クロマツ）を植栽することで、森林を再生する方法がある。本県では、鹿児島県、熊本県、静岡県で生産された抵抗性クロマツを主に植栽しているが、それぞれの抵抗性クロマツが、本県においてどのような生育特性を示すかは明らかでない。各種類の抵抗性クロマツの生育特性を明らかにできれば、本県に、より適した抵抗性クロマツによる森林再生が可能となるだろう。そこで、本研究では、産地の異なる抵抗性クロマツの生育状況をモニタリングし、その生育特性を立地環境や菌根菌と関連づけて明らかにすることを目的とした。同時に、クロマツの代替樹種と期待されるウバメガシ（cf. 中島・小笠原 2013）も同所的に植栽し、その生育状況をモニタリングすることで、海岸林の広葉樹林化について

Hirofumi NAKASHIMA, Yusuke OGASAWARA : Reforestation technique around coastal area damaged by pine wilt disease

\*現西三河農林水産事務所林務課

も検討した。

## II 方法

### 1. 造成試験地のモニタリング

#### (1) クロマツの初期成長量調査

田原市小中山町（渥美半島）にある海岸クロマツ林内には、マツ枯れ木の伐倒駆除によって生じたギャップがいくつか存在する。その内の3箇所に10×25 mのプロットを一つずつ設定した（P1、P2、P3）（図-1）。各プロットは、それぞれ海から190 m、230 m、300 m離れたところに位置している。各プロットに、2年生の抵抗性クロマツ3種類：スーパーグリーンさつま（以下；kag）、天草スーパー松（以下；kum）、静岡エースくろまつ（以下；siz）、および対照群として愛知県産の抵抗性でないクロマツ（以下：aic）を50本ずつ計200本、2012年2月に1 m間隔で植栽した（10,000本/ha）。

植栽した全てのクロマツの樹高（H）、根元径（D）を植栽時、2012年11月および2013、2014年の5月と11月に測定した。また、2012年5月～2015年の1月まで、2ヶ月おきに生死の判定を行い、加えて、枯死木の一部を採取し、ベールマン漏斗法によりマツノザイセンチュウの有無を確認した。樹高（H）と根元径（D）から、 $D^2H$ を求め、その相対成長速度（RGR： $\Delta \ln(D^2H) / \Delta t$ 、 $t$ は日数）を算出した。

#### (2) ウバメガシの初期成長量調査

2012年3月、前述の各プロットに、ウバメガシを植栽間隔1 mで40本ずつ植栽した（10,000本/ha）。なお、植栽したウバメガシは、本調査地の周辺で生育している個体から採取した種子を、愛知県森林・林業技術センター内の苗畑に播種し、1年間育てた1年生のものである。

クロマツと同時期に同様に樹高、根元径の測定、生死の判定を行い、測定した樹高、根元径から

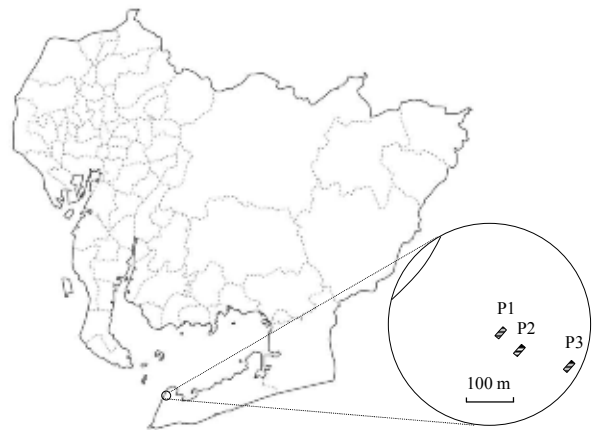


図-1 調査プロット位置

RGRを算出した。

統計解析は、一般化線形モデル（GLM）を構築し、赤池情報量基準（AIC）に基づくステップワイズ法により、最適モデルを探索した。GLMの応答変数は、生残率（誤差構造は二項分布（リンク関数はlogit）を仮定）、RGR（誤差構造はガンマ分布（リンク関数はlog）を仮定）で、固定効果は、プロット、産地（クロマツのみ）とした。

#### (3) 立地環境等調査

##### ア 土壌水分、光環境

2013年7月と11月に、土壌水分計（DM-18、竹村電機製作所、東京）を用い、各プロット24地点の表層土壌の含水率（%）を測定した。更に、2015年2月にデジタル一眼レフカメラ（D40、ニコン、東京）に魚眼レンズ（4.5 mm F2.8 EX DC CIRCULAR FISHEYE HSM、シグマ、神奈川）を装着し、各プロット4地点の全天空写真を撮影した。撮影した全天空写真から、LIA32（ver.0.3781、山本2008）を用いて、開空度（%）を算出した。

土壌含水率（誤差構造は正規分布を仮定）、開空度（誤差構造は正規分布を仮定）を応答変数、プロットを固定効果としたGLMを構築し、AICに基づくステップワイズ法により最適モデルを探索した。

## イ 土壌の化学分析とクロマツ菌根菌の調査

2013年11月に、植栽したクロマツの根元から10 cm 離れた場所において、ステンレス性のパイプ（内径：3 cm、長さ：30 cm）を木槌で地中に打ち込み、クロマツの根を含む土壌を採取した。土壌サンプルは各プロットの各産地のクロマツから10サンプルずつ採取した（計120サンプル）。採取した10サンプルのうち、3サンプルは化学分析用、残りの7サンプルは菌根菌調査用とした。なお、化学分析用の土壌サンプルは、樹木根等を取り除いて粉碎後、風乾し、2 mm の篩を通して風乾細土とした。

土壌の pH、電気伝導度（EC）は、風乾細土と蒸留水を1:5となるように混合し、1時間攪拌させた後に、pHメーター（F-52、堀場製作所、京都）、ECメーター（D-24、堀場製作所、京都）を用いて、それぞれ測定した。交換性塩基（Na、K、Mg、Ca）量は、1.0M の酢酸アンモニウム溶液で抽出後、ICP-AES（SPS-7700、セイコー電子工業、千葉）を用いて測定した。

統計解析は、GLMを構築し、AICに基づくモデル選択により行った。応答変数は、土壌 pH、EC、各交換性塩基量で、固定効果は、プロットとした。全ての応答変数において誤差構造は正規分布を仮定した。

菌根菌調査用のサンプルについては、2 mm メッシュと1 mm メッシュの篩を用いて、流水下でクロマツの根のみを抽出した。抽出した根については、実体顕微鏡（SMZ645、ニコン、東京）下で、根端が菌根化しているかどうかを観察し、菌根化していた根端については、菌根の色を目視により黒色、茶色、飴色、白色の4色に分類した上で、その数を計数した。

菌根数（合計、又は各色）が生残率、RGR に与える影響を検証するために、応答変数を、生残率（誤差構造は二項分布（リンク関数は logit）を仮

定）、RGR（誤差構造はガンマ分布（リンク関数は log）を仮定）、固定効果を、各色の菌根数、変量効果をプロット、産地とした GLMM を構築し、AIC に基づくモデル選択により、最適モデルを探索した。ただし、この解析における生残率、RGR は、植栽時から2年経過時点における値を用いた。

更に、各色の代表的な菌根の6~10根端のDNAを調べ、各色の菌根にどのような種の菌根菌が含まれるかを調査した。DNAの抽出には、DNeasy plant mini kit（Qiagen、USA）を用い、rDNAのITS領域を対象としたPCRを行った。ITS領域の増幅の際には、プライマーセット ITS1F/ITS4（PCR酵素として Takara Ex Taq（タカラバイオ、滋賀）を使用）、もしくは、ITS1F/TW13（PCR酵素として KOD FX（タカラバイオ、滋賀）を使用）を用いた。電気泳動により十分なDNAが得られたことを確認した後、PCR産物を illustra GFX PCR DNA and Gel Band Purification Kit（GE Healthcare、UK）を用いて精製した。プライマー ITS1F（一部の菌根については、ITS4B も使用）と BigDye Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit（Applied Biosystems、USA）を用いてシーケンス反応を行い、シーケンサー（ABI3130、Applied Biosystems、USA）により、塩基配列を特定した。塩基配列データから、NCBIのBLAST 相同性検索ツールにより近縁種を推定した。

本研究の全ての統計解析には、統計ソフト R（ver.3.0.2、R Development Core Team、2013）を用いた。

## III 結果

### 1. 造成試験地のモニタリング

#### (1) クロマツの初期成長量調査

クロマツの3年間の生残率のモニタリング結果を図-2に示す。クロマツの枯死は、プロット1、2において、植栽年の7~11月にかけて顕著だっ

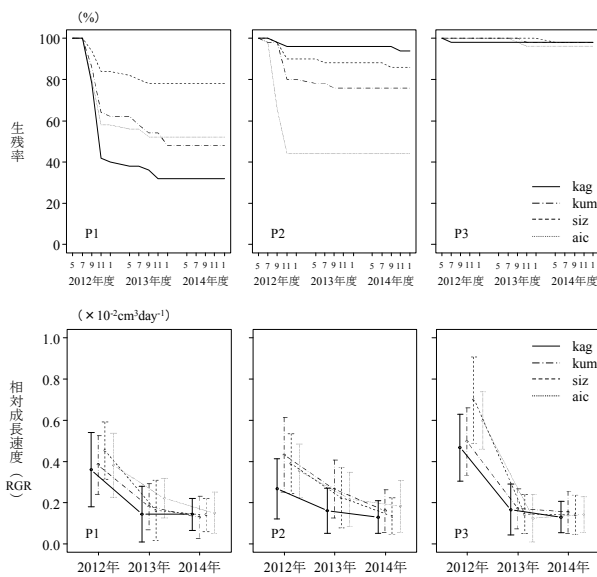


図-2 クロマツの生育状況モニタリング

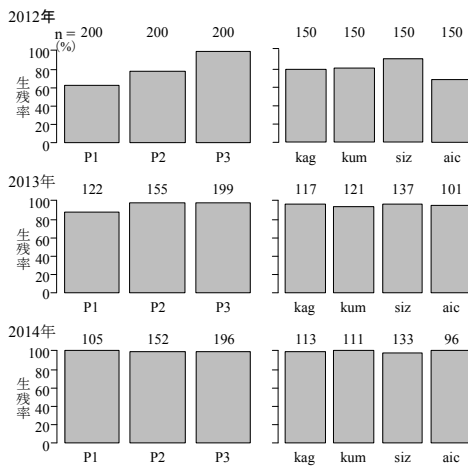


図-3 クロマツの各年の生残率

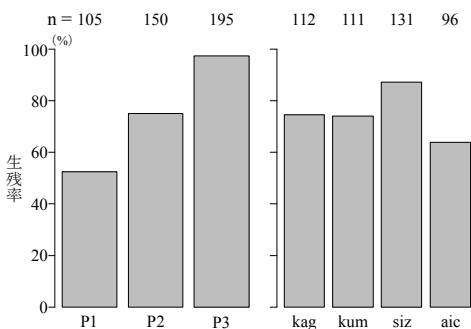


図-4 クロマツの3年経過後の生残率

た。2年目にも一部のクロマツが枯死したが、3年目になると、ほとんど枯死するクロマツはなかった。2012（植栽年）～2014年の各年の1年間のみの生残率（各年の1月生残個体数に対する同年11月生残個体数の割合）を、プロット間、産地間で比較すると、2012年の生残率は、プロット間、産地間の両方において違いが認められ、プロット間では海側から内陸のプロットになるにつれて生残率が高くなり、産地間では、sizが最も高く、次いで kum、kag、aic の順に低くなった（図-3）。2年目の2013年の生残率は、プロット間でのみ違いが認められ、2012年同様、内陸のプロットほど高い生残率を示した（図-3）。3年目の2014年の生残率は、プロット間、産地間の両方において違いは認められなかった（図-3）。植栽から3年間経過した時点での生残率（植栽個体数に対する3年経過後の生存個体数の割合）は、プロット間、産地間の両方で違いが認められ、プロット間では、内陸のプロットほど生残率は高くなり、産地間では、siz、kag、kum、aic の順に低くなった（図-4）。なお、今回採取した枯死木からは、マツノザイセンチュウは確認されなかった。

次に、クロマツの3年間の成長量（RGR）のモニタリング結果を図-2に示す。時間の経過とともにRGRは、徐々に小さくなった。各年1年間のみのRGRをプロット間、産地間で比較すると、植栽年の2012年のRGRは、プロット間、産地間で違いが認められ、プロット間では最も内陸のP3で特に高く、P2で最も低かった（図-5）。産地間では、RGRはsizで最も高く、次いでkum、aic、kagだった（図-5）。2013年においても、RGRはプロット間、産地間で違いが認められた（図-5）。プロット間では、前年の2012年において最もRGRが低かったP2において最も高い値を示し、2012年の時に最も高かったP3で最も低い値となり、2012年のRGRとは異なる傾向を示した。産

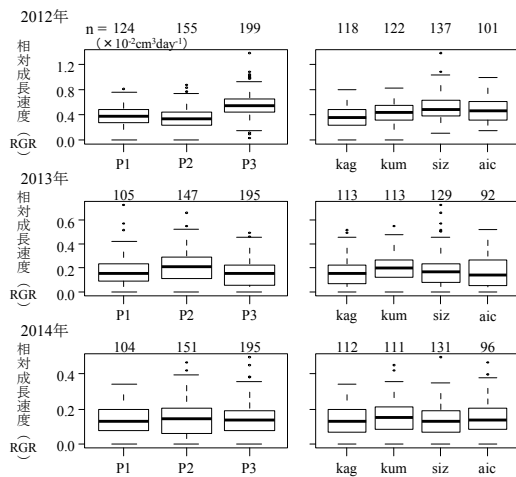


図-5 クロマツの各年の RGR

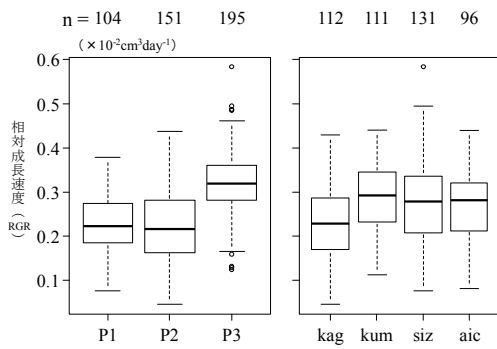


図-6 クロマツの3年間の RGR

地間では、kum、aic、siz、kag の順に RGR が低くなった。3年目の2014年のRGRは、プロット間、産地間の両方で違いは認められなかった(図-5)。3年間のRGR(植栽時のD<sup>2</sup>Hと3年目のD<sup>2</sup>Hから算出したRGR)は、プロット間、産地間で異なり、プロット間では、内陸のプロットほど高くなった。産地間では、kum、siz、aic、kagの順に低く、kumがsizを僅かに上回った(図-6)。

(2) ウバメガシの初期成長量調査

ウバメガシの3年間の生残率のモニタリング結果を図-7に示す。ウバメガシは、最初の観察日(2012年5月)の段階で、すでに20%以上の個体が枯死し、同年9月頃まで枯死し続け、それ以降は、10%前後の生残率を維持したまま推移した。

2012~2014年の各年の生残率は、プロット間で違いはなかった(図-8)。3年経過後の生残率もプロット間で違いはなかった(図-9)。

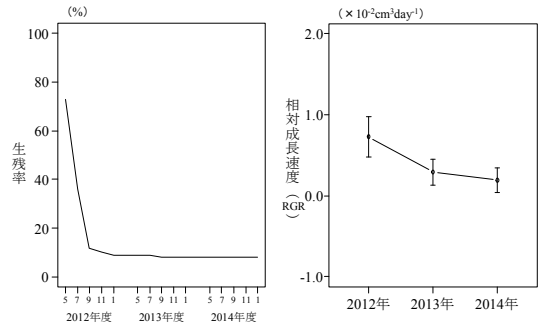


図-7 ウバメガシの生育状況モニタリング

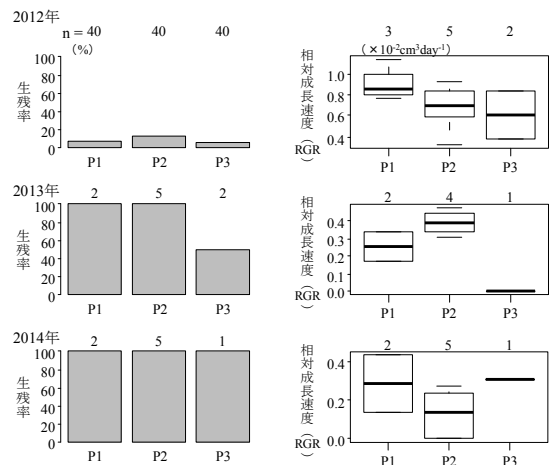


図-8 ウバメガシの各年の生残率・RGR

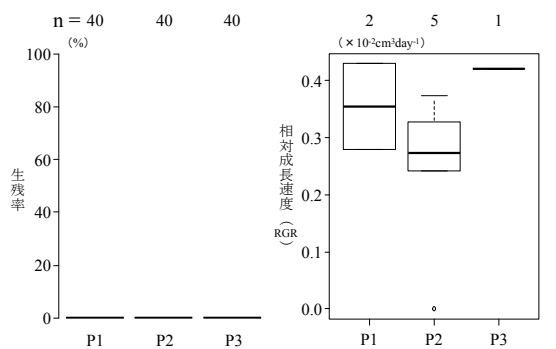


図-9 ウバメガシの3年経過後の生残率と3年間のRGR

表-1 各プロットの立地環境

調査区	開空度 (%)	土壌水分 (%)	pH (H <sub>2</sub> O)	EC (μScm <sup>-1</sup> )	交換性塩基量 (×10 <sup>-2</sup> cmol/kg)			
					Na	K	Mg	Ca
P1	97.3±1.2	30.0±9.5	4.2±0.1	19.6±3.5	30±5.8	1.0±0.96	22×±5.0	20±10
P2	92.8±1.5	23.2±8.5	4.1±0.2	13.7±4.2	9.3±2.8	0.68±0.95	15×±4.9	23±4.7
P3	91.6±3.4	32.6±8.0	3.8±0.1	20.0±4.1	0.59±0.68	0.25±0.46	14×±2.3	16±2.6

次に、ウバメガシの3年間の成長量(RGR)のモニタリング結果を図-7に示す。ウバメガシのRGRは、2012年から2014年にかけて、徐々に低下した。年毎のRGRをみると、2012年、2014年は、プロット間で違いはなかった(図-8)。2013年のみ、プロット間で違いが認められ、RGRはP2、P1、P3の順に低くなった(図-8)。最も内陸のP3においてRGRは最も低く、これは、クロマツとは対照的だった。しかし、植栽時に対する3年目のRGRは、プロット間で違いは認められなかった(図-9)。

(3) 立地環境等調査

ア 立地環境及び土壌の化学性分析

各プロットにおける立地環境調査の結果を表-1に示す。土壌pHは、海側から内陸側のプロットにかけて徐々に低くなった。土壌ECは、P3で高く、P2で低かった。開空度は、内陸のプロットほど小さかった。土壌含水率は、最も内陸のP3で最も高く、P2で最も低かった。交換性塩基(Na、K、Mg、Ca)量についてみると、Mgのみ内陸のプロットで小さくなり、他の交換性塩基はプロット間で異ならなかった。

イ クロマツの菌根菌等調査

クロマツの4,081根端を観察したところ、4,067根端が菌根化しており(99.7%)、ほとんど全ての根端が菌根化していた。

また、各色の菌根数と生残率、成長量(RGR)との関係をみると、全ての色の菌根数が生残率と正の相関を示し(図-10)、茶色と白色の菌根数のみが成長量(RGR)と正の相関を示した(図

-11)。特に、白色の菌根は、茶色の菌根に比べ、RGRに対して高い効果を示した。なお、黒色、紺色の菌根数(固定効果)は、RGRを応答変数とした最適モデルにおいて排除されたので、それらはRGRに影響しない要因だと言える。

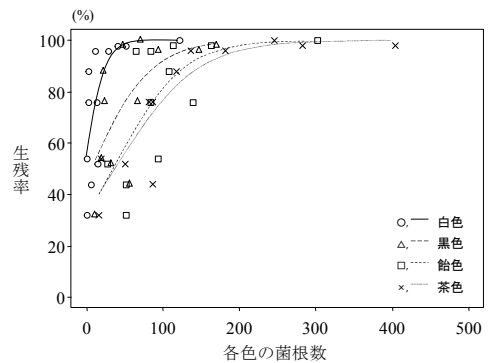


図-10 生残率と各色の菌根数との関係 (Nakashima et al. in press) (改)

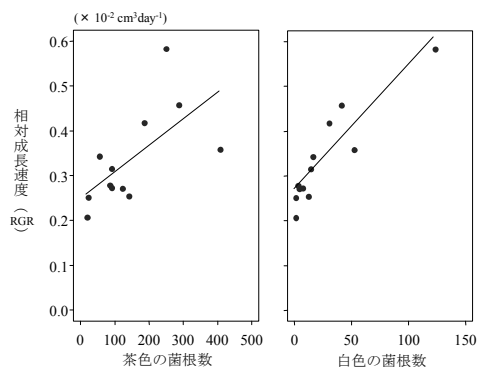


図-11 RGRと茶色・白色の菌根数との関係 (Nakashima et al. in press) (改)

次に、DNA解析の結果を表-2に示す。各色の菌根菌は、概ね異なる菌根菌により構成されていた。黒色の菌根に含まれていたのは、Glomaceae:

表-2 各色の菌根菌の構成種 (nakashima et al. in press) (改)

菌根菌の色	シーケンス長	推定された種	e-value	% Similarity (bp/bp)	最近似種, アクセション番号	アクセション番号
黒色	499	<i>Cenococcum geophilum</i>	0.0	99% (494/499)	<i>Cenococcum geophilum</i> , JN129390	LC033906
茶色	751	Atheliaceae sp. 1	0.0	99% (723/734)	Uncultured ectomycorrhizal fungus, AB873196	LC033907
	761	コツブタケ属 sp. 1	0.0	99% (659/666)	<i>Pisolithus</i> sp., AB099843	LC033908
	770	コツブタケ属 sp. 2	0.0	98% (660/676)	<i>Pisolithus</i> sp., AB099919	LC033909
	384	シヨウロ科 sp.	4e-180	97% (372/384)	Uncultured <i>Rhizopogon</i> , AB839390	LC033910
飴色	523	<i>Wilcoxina</i> sp.	0.0	99% (478/485)	Uncultured <i>Wilcoxina</i> , HG426035	LC033911
	470	ベニタケ科 sp.	0.0	100% (470/470)	<i>Russula violeipes</i> , KF361806	LC033912
白色	829	ツチグリ属 sp.	0.0	98% (801/817)	<i>Astraeus hygrometricus</i> , FJ710187	LC033913
	535	Atheliaceae sp. 2	0.0	99% (531/536)	Uncultured ectomycorrhizal fungus, AB587734	LC033914
	470	Atheliaceae sp. 3	0.0	98% (461/470)	<i>Fungal</i> sp., AB634274	LC033915
	549	イグチ科 sp.	0.0	100% (543/543)	<i>Phylloporus rubiginosus</i> , KF053004	LC033916
	509	イボタケ科 sp. 1	0.0	100% (509/509)	Uncultured ectomycorrhizal fungus, AB587780	LC033917
	794	イボタケ科 sp. 2	0.0	94% (682/724)	<i>Tomentella</i> sp., FM244909	LC033918

*Cenococcum geophilum* のみだった。茶色の菌根には、Atheliaceae、コツブタケ科コツブタケ属、シヨウロ科の菌根菌が、飴色には、Pyronemataceae: *Wilcoxina*、ベニタケ科の菌根菌が、白色には、ツチグリ科ツチグリ属、Atheliaceae、イグチ科、イボタケ科の菌根菌が含まれていた。

#### IV 考察

##### 1. 造成試験地のモニタリング

###### (1) 抵抗性クロマツによる森林再生

まず、クロマツ植栽木における生育状況の3年間のモニタリング結果について考察する。生残率は植栽1年目に最も大きく低下し、RGRは植栽1年目に最も高くなることが分かった(図-2)。2年目の生残率はプロット間で異なり、内陸のプロットで高い傾向が認められたものの、2年目以降のクロマツの枯死個体は急激に少なくなり、3年目になると、プロット・産地間で生残率に違いはなく、枯死率(100-生残率)はほとんど0%に近い値だった。2年目以降のRGRは徐々に低下し、3年目には全てのプロット・産地間で差がなく、一定値( $\approx 1.4 \times 10^{-3} \text{cm}^3 \text{day}^{-1}$ )に近づいた。更に、3年経過時点での生残率やRGRのプロット・産地間の違いが(図-4、6)、植栽1年目のプロット・産地間の違いとほぼ同様の傾向を示したこと(図-3、5)、植栽1年目の生残率とRGRを高め

ることが、クロマツの植栽において非常に重要であると考えられた。

次に、各プロットにおける生残率・RGRの違いについて考察する。前述のとおり、プロット間の違いは植栽1年目に顕著で、海側のプロットほど、生残率・RGRは低くなった。海に近い場所で植栽する際は、防風柵等を設置することで、生残率・成長量を高めることができるとの報告もあり(佐藤ら1998、山野井ら2001)、このような対策が必要であると思われる。

更に、各プロットにおける立地環境とクロマツの生残率・RGRについて考察する。まず、開空度は、内陸ほど低かった(表-1)。また、開空度と照度との間には強い相関があることから(若原ら2012)、内陸のプロットでは、照度が低くなる可能性があるが、全てのプロットにおいて開空度は90%を越えていたので、照度の違いが植栽木に与える影響はほとんどないと考えられる。土壌含水率はプロット間で異なり、P2で低くP3で高かった。土壌ECも、土壌含水率と同様の傾向を示した。しかし、P2において、とりわけ生残率・RGRが低くなったわけではないので、土壌含水率、土壌ECが生残率・RGRに与える影響もほとんどないと考えられる(表-1)。土壌pHは、全体的に低く、本調査プロットは酸性土壌と言える。更に、内陸のプロットほど土壌pHは低く、P3ではpH

は  $3.8 \pm 0.1$  だった (表-1)。一般的に酸性土壌では、交換性塩基が溶脱しやすいことが知られており (吉田・川畑 1988)、実際に、GLM によるモデル選択の結果、Mg については内陸ほど少なくなる傾向が認められた。他の交換性塩基については、有意ではないものの、プロット 3 で低いという傾向は同様であった。K、Mg、Ca 等の必須元素の欠乏は、光合成の低下や様々な欠乏症等を生じさせる場合がある。また、土壌酸性化により、Al や Mn が溶出すると、植物の成長や養分吸収が阻害される場合がある (Schaedele et al. 1989、Izuta et al. 1995)。そのため、土壌の酸性化は、クロマツの生残率・RGR に負の影響を与える可能性がある。しかしながら、P3 における生残率・RGR は、全てのプロットの中で最も高かった。酸性土壌においては、クロマツの成長量が高まる可能性があり (丹下ら 1999)、今回の結果もそれを支持しているのかもしれない。

続いて、産地間の生残率・RGR の違いについて考察する。生残率については、植栽 1 年目も、植栽から 3 年経過した時点でも、全ての抵抗性クロマツにおいて、愛知県産クロマツの生残率を上回っていた (図-3、4)。RGR については、植栽 1 年目では、siz で最も高い値を示したが (図-5)、3 年間の RGR は、僅かに kum の RGR が siz を上回った (図-6)。また、kag の RGR は対照群である aic を下回った。以上から、生残率・成長量の両方を考慮すると、kum と siz が本県に適した抵抗性クロマツであると考えられた。

最後に、菌根菌の感染割合や菌の構成 (菌根菌の色、あるいは菌種) が抵抗性クロマツの生残率・RGR に与える影響について考察する。まず、生残率には、全ての色の菌根数が正の効果を示した (図-10)。言い換えれば、菌根数が多いほど生残率が高まるということである。次に、RGR には、茶色と白色の菌根数が正の効果を示した (図-11)。

クロマツは代表的な菌根性樹種であり (Matsuda et al. 2009)、菌根の存在により、気象害や病虫害への耐性、養水分の吸収効率が高まることが知られている (Finlay and Read 1986、Buscot et al. 1992)。その結果として、生残率・成長量が高まる可能性がある (岡部 1994、Sarjala et al. 2010)。本研究において有用であると唆された茶色や白色の菌根菌をうまく利用することで、更に生残率・成長量を高めることができるかもしれない。

今回、DNA 解析を行い、各色の菌根にどのような菌種が含まれるかが明らかとなった (表-2)。生残・成長に対して、特に高い効果を示した白色菌根に含まれていたツチグリ属の菌根菌は、他の菌根菌よりも、その効果が大きいかもしれない (Kayama and Yamanaka 2014)。しかし、今回の DNA 解析は、定性的なもので、調査プロットにいる全ての菌を抽出できているわけではないので、今後、本調査プロットに存在する菌根菌種と、各菌種の樹木に対する効果を、定量的に明らかにする必要があるのであるだろう。

## (2) ウバメガシによる広葉樹林化

ウバメガシの生育状況も、クロマツ同様、3 年間モニタリングしたところ、植栽 1 年目の生残率が極端に低く (図-7)、また、プロット間では、生残率に違いは認められなかった (図-8)。本調査プロットの周辺には、多くのウバメガシが生育しており、ウバメガシにとって生育に不適な環境だとは考えにくい。そのため、1 年生苗を移植したことによる活着不良が主な枯死要因であると思われる。ウバメガシ堅果の取り播きや、2 年生以上の苗木の植栽を検討する必要があるだろう。RGR は、1 年目から 3 年目にかけて徐々に低下する傾向が見られたが、生存個体数が少ないため、(図-7、8)、まずは、生残率を高める必要がある。

## (3) まとめ



本研究では、抵抗性クロマツを用いた森林再生と、ウバメガシを用いた広葉樹林化を検討した。まず、抵抗性クロマツを用いた森林再生については、本研究結果から、熊本県産 (kum)、静岡県産 (siz) の抵抗性クロマツが本県に適している可能性があるため、それらの積極的な活用と、更に茶色や白色の菌根菌をうまく利用することで、より効果的に海岸林を再生していくことができるかもしれない。また、ウバメガシを用いた広葉樹林化については、植栽初期の生残率が非常に低いので、生残率を高めるための改善をする必要があり、その後、広葉樹林化の可否について検討すべきだろう。

## 謝辞

本研究の菌根菌の DNA 解析において、三重大学大学院生物資源学研究科の松田陽介准教授、上杉天志氏には、実験手法からデータ解析方法までご教授いただき、大変お世話になりました。この場をかりて厚くお礼申し上げます。

## 引用文献

愛知県 (2009) 渥美半島の海岸林造成と防災の歴史. 102pp

Buscot F, Weber G, Obervinkler F (1992) Interactions between *Cylindrocarpon destructans* and ectomycorrhizas of *Picea abies* with *Laccaria laccata* and *Paxillus involutus*. *Trees* 6 : 83-90

Finlay RD, Read DJ (1986) The structure and function of the vegetative mycelium of ectomycorrhizal plants. II. The uptake and distribution of phosphorus by mycelial strands interconnecting host plants. *New Phytol* 103 : 157-165

後藤浩・有馬勇人・石野和男・竹澤三雄・玉井信

行 (2012) 東北地方太平洋沖地震津波における海岸保安林の効果および被災に関する現地調査. *土木論集* 68 : 1366-1370

今井健太郎・原田賢治・渡辺修・江刺拓司・島貫直樹・八木智義・今村文彦 (2009) 実地形における海岸林を利用した津波減勢策-仙台湾岩沼・名取海岸を例として-. *土木論集* 65 : 326-330

Izuta T, Noguchi K, Aoki M and Totsuka T (1995) Effects of excess manganese on growth, water content and nutrient status of Japanese cedar seedlings. *Environ Sci* 3 : 209-220

Kayama M, Yamanaka T (2014) Growth characteristics of ectomycorrhizal seedlings of *Quercus glauca*, *Quercus salicina*, and *Castanopsis cuspidata* planted on acidic soil. *Trees* 28 : 569-583

Matsuda Y, Noguchi Y, Ito S (2009) Ectomycorrhizal fungal community of naturally regenerated *Pinus thunbergii* seedlings in a coastal pine forest. *J For Res* 4 : 335-341

村井宏・石川政幸・遠藤治郎・只木良也 (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, 513pp

中島寛文・小笠原祐介 (2013) 海岸クロマツ林モニタリング調査 (第 1 報). *愛知県森林セ報* 50 : 8-16

岡部宏秋・江崎次夫・丸本卓哉・早川誠而・赤間慶子 (1994) . *森林立地* 36 : 55-63

Sarjala T, Niemi K, Häggman H (2010) Mycorrhiza formation is not needed for early growth induction and growth-related changes in polyamines in Scots pine seedlings in vitro. *Plant Physiol Biochem* 48 : 596-601

佐藤慎司・加藤史訓・杉本利英・本間勝一・吉越一夫・唐澤忠雄 (1998) 新潟海岸および下新

川海岸における植栽の現地試験. 海工論集  
45 : 1131-1135

Schaedle M, Thornton FC, Raynal DJ and Tepper HB  
(1989) Response of tree seedlings to  
aluminum. Tree Physiol 5 : 337-356

丹下健・田村邦子・古田公人 (1999) 酸性水散布  
による土壌酸性化初期におけるクロマツ苗  
の生育. 森林立地 41 : 77-81

若原妙子・石川芳治・白木克繁・内山佳美 (2012)  
東丹沢堂平地区のブナ林における開空度、照  
度および植生被覆. 砂防学会研究発表会概要  
集 61 : 214-215

吉田稔・川畑洋子 (1988) 酸性雨の土壌による中  
和機構. 日土肥学誌 59 : 413-415