森林化困難地域における植栽適木の検討

久高　梢子・伊藤　俊輔・井口　朝道・玉城　雅範

１．はじめに

沖縄島北部の県営林では、返地された貸付跡地の一部において造林木の成長にバラツキが見られる。その要因として、貸付当時に土地の造成等が行われたことで土壌環境が変化し、通気性や透水性が悪く、樹木の生育がよくない箇所が生じていると考えられる。民有林適地適木調査報告書によると、当該地域は、強酸性で塩基に乏しく生産性の低い表層グライ系黄色土、赤色土（gYR$_{I-II}$型土壌）や、段丘地域の平坦面、緩斜面を開墾後放棄した人為的未熟土壌（P-Im-R 型土壌）が広がり、一部の斜面上中部に Y_C 型土壌がみられ、土壌が浅いか未熟で、A 層が堅いとされ、リュウキュウマツの植栽が適当とされている（沖縄県、1981）。本研究では、このような地域を森林化困難地域と呼ぶこととする。

森林化困難地域の早期森林化は、森林の公益的機能の発揮のため重要であるが、植栽適木とされるリュウキュウマツは、近年マツ材線虫病の被害により造林が敬遠されている。森林化困難地においても病害虫の被害が少なく、成長が早い、これまでの造林樹種に代わる新たな樹種の検討が求められている。

そこで、海外において強酸性土壌の適応樹種として確認されており、琉球大学の植栽試験（諏訪ほか、2018）で活着の良好だった *Melaleuca* 属から 2 種と、本県で近年早生樹として注目されているハマセンダンに着目した。併せて、既存の造林樹種のうち、沖縄島北部地域の主要樹種であるイジュ、肥料木として知られるヤマモモ、土壌を選ばず生育適地の適用範囲が大きいとされるシャリンバイ（沖縄県緑化推進委員会、2005）の計 6 種類について、2020 年 3 月に森林化困難地域で植栽試験を実施し、植栽 4 年目の活着状況及び生育状況について調査を行ったので報告する。

２．調査地および方法

（1）試験地概要

試験地は東村慶佐次県営林内の貸付跡地（北緯 26.622、東経 128.112 付近）に位置する（図-1）。植栽前はコシダが繁茂していた（図-2）。調査地土地利用の変遷を確認するために、国土地理院の閲覧システムを利用して、1973 年、1977 年、1993 年、2018 年の空中写真から土地利用の変遷を確認した。微地形表現図については、沖縄県森林資源研究センターが導入している沖縄県森林クラウドシステムから取得し、地形の起伏を確認した。

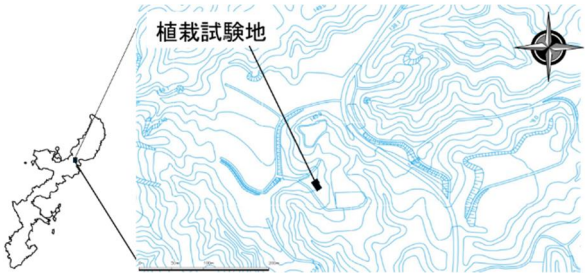

図-1　試験地位置図

図-2　植栽前の現地写真（2019 年撮影）

(2) 材料

植栽した樹種は、*Melaleuca alternifolia*（以下、アルテルニフォリア）、*Melaleuca leucadendron*（以下、カユプテ）、*Tetradium glabrifolium* var. *glaucum*（以下、ハマセンダン）、*Schima wallichii* subsp. *noronhae*(以下、イジュ)、*Rhaphiolepis indica* var. *umbellata*(以下、シャリンバイ)、*Morella rubra*(以下、ヤマモモ)の合計 6 種とした。*Melaleuca* 属 2 種は、琉球大学農学部から提供を受けた 1 年生 M スターコンテナ苗(以下 M スター苗）を用いた。イジュとハマセンダンは、本センター内で育苗した 1 年生 M スター苗を用いた。シャリンバイとヤマモモは、苗木生産者から購入した 2～3 年生のポット苗を用いた。植栽後は年に 1 回 IB ワンス（N：P：K＝12：6：6、肥効 1 年）を 45g/本施肥し、下刈りは行わなかった。

(3) 生育状況調査方法

植栽は 2020 年 3 月 17 日に行い、4,000 本/ha の間隔で 6 樹種の配置的な偏りがないよう各樹種 15 本ずつ植栽した（図-3）。植栽時には、前植生のコシダをはぎ取り除去したあと、深さ 30 cmの植穴に植栽した。

植栽木の生育状況を調べるため、植栽から約 3.5 年後の 2023 年 9 月 6 日まで 6 ヶ月ごとに樹高調査を行い、最終日には地際径も計測した。樹種別の樹高成長量及び地際径については、先枯れ等の被害のない健全木を対象として多重比較（Tukey-Kramer 法）により統計解析を行った。

(4) 根系調査

植栽木の根系の発達状況を調べるため、2023 年 11 月 7～10 日に、6 樹種の植栽木から各 2 本について、植栽木から 0.5m 程度離れた場所にバックホウでトレンチを掘り（図-3）、あとは人力で土壌を削り取りながら、根元の周囲の半周分を露わにした（トレンチ法:苅住、2010）。トレンチ断面の範囲は、各植栽木の根系の広がりに応じて、深さ方向は 40 cm、水平方向は幹から半径 30～50 cmとし、10 cm×10 cmメッシュの金網を当てて根系分布を観察する際の目安とした。植栽木の樹種ごとの根系の特徴について、苅住（2010）が提唱する根系分布の類型化の基準のうち、根系の形態、垂直分布、水平分布、根系の分岐性、細根の着き方の 5 つの因子（図-4、図-5）を用いて把握した。根系の形態、根系の分岐性及び細根の着き方は、水平根（根元から水平方向に伸びている根）と垂直根（根元から垂直方向に伸びている根）の本数を数え、付け根の直径をノギスで計測し、視覚的な観察と付け根直径の度数分布から判定した。また、垂直分布は 40 cmの範囲で浅根型～深根型を判断し、水平分布は植栽木の幹から半径 50 cmの範囲で集中型～分散型を判断した。

(5) 草本植生調査

草本植生の侵入状況を調べるため、2023 年 9 月に 2.5m×2.5m の調査区を 2 か所設定し(図-3)、ブラウン・ブランケの植生調査方法により被度と群度で表した。また、自然侵入していた木本類実生については、本数と樹高を測定した。

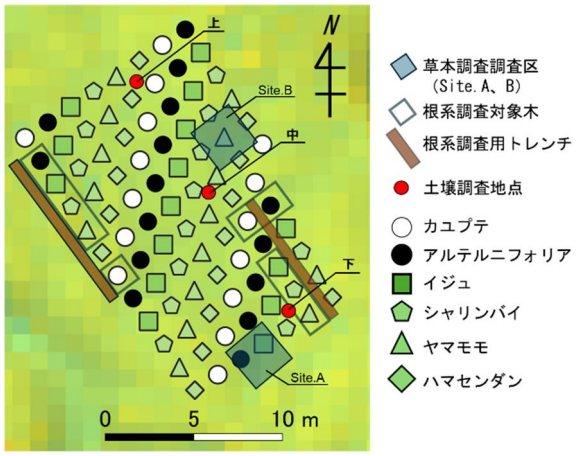

図-3 植栽配置及び調査実施箇所位置

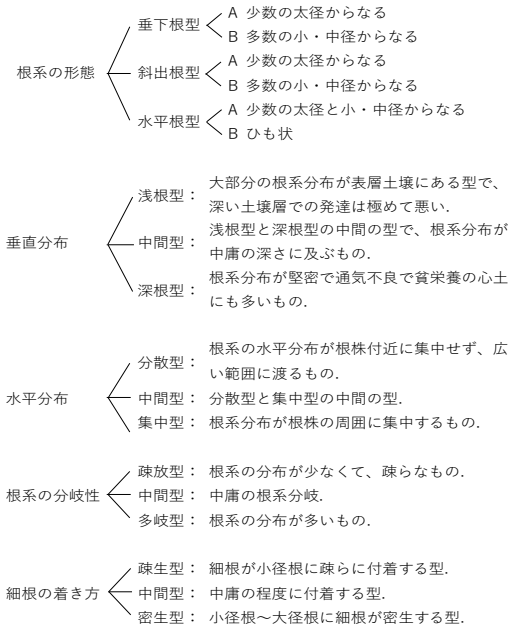

図-4 根系を表す因子（苅住、2010）一部抜粋

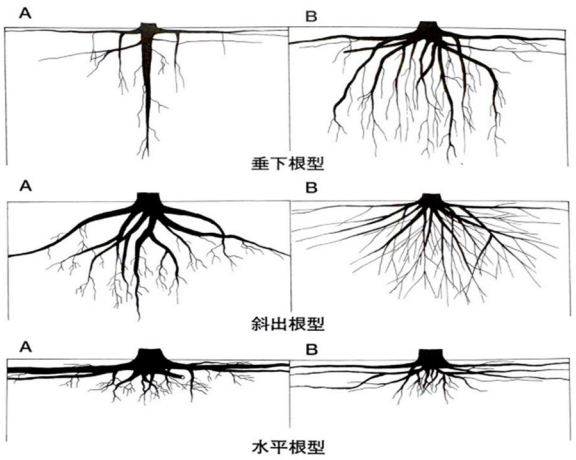

図-5 成木の根系の基本的な分布型（苅住,2010）抜粋

(6) 土壌調査方法

森林化困難地域の土壌特性を明らかにするため、試験地と付近の自然林（以下、自然林）において各 3 地点で土壌調査を実施した。試験地内の調査地点は図-3 に示す。自然林内の調査地点は過去の航空写真から人為の影響が少ない箇所を選定し、35ｍの斜面の尾根部を含む斜面上、谷部を含む斜面下、その中間となる斜面中に設定した。

調査項目は炭素・窒素含有量、土壌の軟らか度、飽和透水係数、三相分布とし、試験地では 2023 年 9 月に、自然林では 2023 年 12 月に調査及び土壌試料を採取した。土壌試料の採取位置は 0 層直下を基準に深さ 0、10、30cm とし、試料は 100ml 円筒を 4 本、化学分析用サンプルを 1 点採取した。100ml 円筒の内 1 本は飽和透水係数測定用、3 本は三相分布測定用とした。試料採取の際に土壌断面の簡易的な目視調査を行い、写真で記録した。

炭素・窒素含有量は実験室内で風乾させた風乾土 1000mg 程度を秤取り、有機元素測定装置（vario Max cube エレメンター社製）で 1 試料につき 1 回測定した。土壌の軟らか度は試料を採取した近傍で長谷川式土壌貫入計（ダイトウテクノグリーン社製）により 1 地点につき 1 回測定した。飽和透水係数はデジタル透水性試験機（DIK-4026　大起理化工業社製、以下型番のみ記載）の標準モードで測定した（1 試料につき 3 データ出力）。三相分布は多容量土壌 pF 測定器（DIK-3424）で pF3.0 に設定した土壌試料をデジタル実容積測定装置（DIK-1150）で測定後、土壌試料を絶乾し算出した。

３．結果及び考察

(1)　土地利用の変遷

試験地設定区域は、1973 年には森林の様相を呈していたが、1977 年には開墾されたことが確認され、1993 には何らかの樹木ではない植生が確認され、2018 年は 1993 年と大きく変わった様子はなかった（図-6）。微地形表現図より当該地は勾配のほとんどない平坦な土地であり、1977 年に開墾された当時に人為的に地形が改変されたと考えられた（図-6）。当該地では、県営林野貸付契約が継続していた 2005 年の現地調査の際に、土地利用が行われていなかったことが確認されており（久高、未発表）、少なくとも試験実施年まで 15 年以上放置され森林化していない土地であったことがわかった。

図-6　土地利用の変遷

※注　国土地理院撮影空中写真に試験地を追記

最終調査時点のカユプテの生存率（植栽本数に対する生存本数の割合）は 67%で、健全木本数は植栽本数の 47%となり、健全木の平均樹高は 198cm と大きかったが（表-1）、枯死木若しくは折れや倒伏などが見られた。これは、2023 年 8 月 2、3 日及び 6、7 日に沖縄地方に接近した大型で非常に強い台風 6 号の影響を受けたと考えられた。アルテルニフォリアとヤマモモは生存率 80%以上で、平均成長量が 150cm 程度、平均地際径が 30mm 以上であった。一方、ハマセンダンは生存率 13%で、生存木 2 本のうち健全木は 1 本のみで、樹高も 19cm と小さかった（表-1）。イジュとシャリンバイの生存率は 100%と高く、平均樹高はどちらも 50cm 程度であった（表-1）。

表-1　2023 年 9 月の植栽木の生育状況

樹種	植栽本数	生存本数	生存率(%)	健全木本数	健全木平均苗高(cm)±SD	健全木平均地際径(mm)±SD
カユプテ	15	10	66.7	7	198.1 ± 34.2	40.0 ± 7.6
ｱﾙﾃﾙﾆﾌｫﾘｱ	15	14	93.3	11	158.3 ± 29.5	33.2 ± 8.7
ヤマモモ	15	12	80.0	11	146.6 ± 56.7	46.6 ± 18.0
シャリンバイ	15	15	100.0	11	53.2 ± 8.8	9.8 ± 1.3
イジュ	15	15	100.0	15	50.3 ± 12.4	13.9 ± 2.4
ハマセンダン	15	2	13.3	1	19.0 ± -	4.6 ± -

ハマセンダンを除く 5 樹種の植栽期首から 6 ヶ月ごとの健全木の平均樹高の推移は、カユプテ、アルテルニフォリアでは植栽 2～3 年目で著しい成長を示し、4 年目はやや緩やかとなった（図-7）。ヤマモモは 2 年目から継続的に成長し、イジュ、シャリンバイは植栽期首からあまり成長していなかった（図-7）。

ハマセンダンを除く 5 樹種の植栽期首からの樹高成長量は、カユプテはアルテルニフォリア、ヤマモモ、イジュ、シャリンバイより有意に大きく、またイジュとシャリンバイは他の 3 樹種より有意に小さかった（図-8）。地際径については、カユプテ、アルテルニフォリア、ヤマモモに有意な差はなく、イジュとシャリンバイは他の 3 樹種より有意に小さかった

(p>0.05、図-9)。

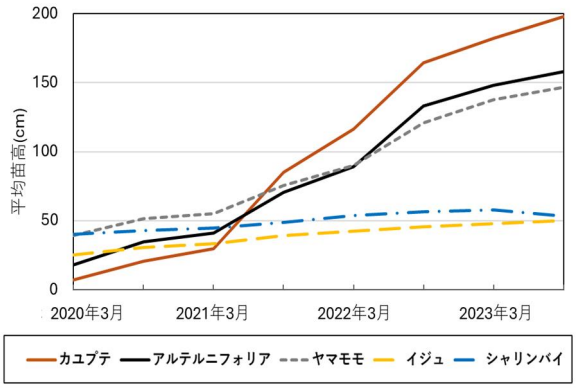

図-7 植栽期首から 6 ヶ月ごとの平均樹高推移

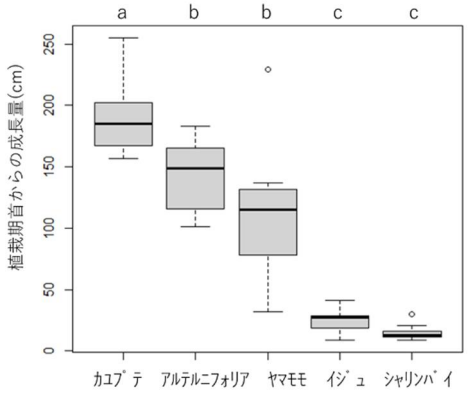

図-8　樹種別樹高成長量

＊アルファベットの違いは p<0.05 で有意差あり

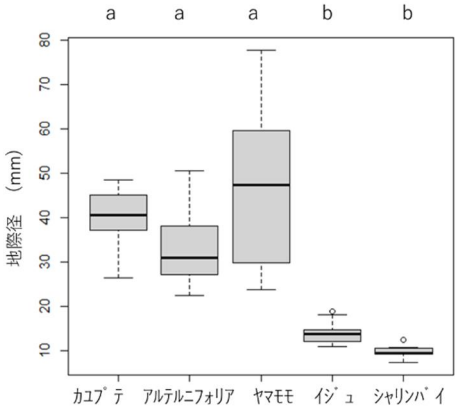

図-9　樹種別地際径

＊アルファベットの違いは p<0.05 で有意差あり

(3) 根系の発達状況

根系調査の対象とした植栽木の根系写真と根元からの発生している根の直径階分布(図-11、12)から根系分布の類型化を行ったところ、本試験の対象とした 6 樹種は、それぞれ異なる根系の形態・分布であることが明らかとなった。(表-2)。

カユプテは、調査対象とした 2 個体で根の形態が異なり（図-11-1、図-12-1)、垂直分布や水平分布も異なった（表-2)。平均樹高が約 200 cmと地上部が大きかったが、健全木は半数ほどで、残りは台風による倒伏や折損被害を受けており（表-1)、水平根型の根系の個体がこのような被害を受けやすい可能性が考えられた。

アルテルニフォリアは垂下根型（A）で垂直分布は深根型、水平分布は集中型であった（表-2)。垂直根は 10～40 mmの太いものが 40 cm以上の深さまで伸びていた一方で（図-11-2、図-12-2)、水平根は 5 mm以下の細い根がほとんどだった（図-12-2)。

ヤマモモは斜出根型（B）で（表-2）各直径階の根がバランスよく発達していた（図-12-3)。水平方向には、太い根が掘削範囲を超えて 50 cm以上広がっていた（図-11-3)。根の分岐性は多岐型で 6 樹種の中で最も根系が発達していた。また、根の一部に根粒菌を確認した。

イジュは垂下根と斜出根が両方みられ（図-12-4)、垂下根型（B）又は斜出根型（A）と判定した（表-2)。垂直分布は中間～深型で（表-2)、深さ 40 cm以上の根が数本見られ（図-11-4)、深く根を張っていたことがわかった。M スターコンテナ苗の根鉢だった部位には 1 mm以下の細根が密生し、根塊を形成していた（図-11-4)。

シャリンバイは、垂直分布は浅根型、水平分布は集中型、根系の分岐性は疎放型で（表-2)、6 樹種の中で最も根系が発達していなかった。また、根のルーピングが見られた（図-11-5)ことから根系の形態は判別がつかなかった（表-2)。ルーピングはポット苗で育苗されている期間中に発生したと考えられた。

平均樹高や平均成長量が大きかった

Melaleuca 属 2 種とヤマモモ（表-1、図-8）については、根系分布も異なっており、*Melaleuca* 属 2 種は根系の分岐性や細根の着き方が疎で、ヤマモモは分岐性が多岐型であった（表-2）。

また、平均樹高や平均成長量が同程度に小さかったイジュとシャリンバイについて（表-1、図-8）、イジュの垂直分布は中間～深根型だったが、シャリンバイは根系が全体的に発達しておらず浅根型で、2 樹種の根系の発達は異なった（表-2）。

根系の形態や分布は、樹種の土壌環境に対する適応性を示すものである（苅住、2010）。また、苅住（2010）は、同一土壌条件であっても、根系の形態や分布は樹齢によって変化すると指摘している。よって、表-2 に示した各樹種の根系分布は、森林化困難地域の土壌条件下での、幼齢木（植栽 4 年目）における樹種ごとの特性であると考えらえた。

表-2　苅住（2010）の類型化による根系分布

樹種	個体ID	根系の形態	垂直分布	水平分布	根系の分岐性	細根の着き方
カユプテ	No7	水平根型（B）	浅根型	分散型	中間型	中間型
カユプテ	No68	垂下根型（B）	中間型	中間型	疎放～中間型	中間型
ｱﾙﾃﾙﾆﾌｫﾘｱ	No2, 80	垂下根型（A）	深根型	集中型	疎放型	疎生～中間型
ヤマモモ	No5, 72	斜出根型（B）	中間型	分散型	多岐型	中間型
イジュ	No3, 70	垂下根型（B）又は斜出根型（A）	中間～深根型	集中型	疎放～中間型	疎生～中間型
ｼｬﾘﾝﾊﾞｲ	No4, 71	不明	浅根型	集中型	疎放型	疎生型

（4）草本植生の侵入状況

試験地は植栽当初は表層を剥いていたため裸地であったが、植栽 4 年目の草本植生の侵入状況は表-3 のとおりで、2 か所の調査区で出現する植物に大きな違いはなかった。SiteA は日当たりを好むコシダ、ホラシノブ、ミズスギといった常緑シダ植物が地表面を覆い始めていたのに対し、SiteB はリュウキュウチク、ススキといった多年生のイネ科植物や常緑低木のノボタンの侵入が目立っていた。只木（1997）の示す乾性遷移模式図に当てはめると、SiteA のほうがやや裸地に近い環境であり、SiteA より SiteB の遷移がやや進んでいると考えられた。

また、木本類のリュウキュウマツとイジュの実生の侵入が確認された（表-3）。試験地周辺にはこれらの成木が散在しており、種子の供給源となったと考えられた。特にリュウキュウマツは両調査区ともに 9 本確認され（表-4）、密度にして 14,400 本/ha と非常に高密度に侵入していた。平均樹高は、SiteB では植栽木のイジュやシャリンバイの平均樹高（表-1）を超えており（表-4）、森林化困難地域におけるリュウキュウマツの植栽木としての適性が改めて確認された。本試験地は、自然条件下では少なくとも 15 年間は森林化しなかったが、実生リュウキュウマツやイジュは、試験地造成の際にコシダの表層を剥いだことから定着が可能となったこと、また植栽木の定着による環境の変化が実生の侵入及び成長を促進した効果も考えられ、人為的な森林造成が早期森林化に寄与していることが確認された。

表-3　草本植生の侵入状況

Site ID	A	B
調査年月日	2023年9月6日	
調査面積（㎡）	6.25	
標高（m）	145.6	146.1
斜面方位	SSE	SSE
傾斜角（°）	10.2	9.2
植栽木		
アルテルニフォリア	H:134 Φ:22.3	-
イジュ	H:41 Φ:12.5	-
ヤマモモ	-	H:170 Φ:55.9
出現数	8	7
樹木稚苗		
リュウキュウマツ	1・1	1・1
イジュ	r・1	-
草本類		
リュウキュウチク	-	1・1
ノボタン	1・1	2・2
ススキ	1・1	3・3
イネ科sp	1・1	-
ミズスギ	4・3	1・2
コシダ	2・2	1・2
ホラシノブ	2・2	1・1

表-4　木本実生の本数と平均樹高

樹種	SiteA				SiteB			
	本数	平均苗高 (cm)	±	SD	本数	平均苗高 (cm)	±	SD
リュウキュウマツ	9	38.2	±	15.9	9	65.2	±	30.2
イジュ	1	10		-	-	-		-

(5) 森林化困難地域と自然林の土壌特性比較

炭素・窒素含有量、CN 比、三相分布、飽和透水係数については表-5、図-10 に示した。表-5 に示した数値は、斜面上中下で大きな数値の変動がなかったことから、各調査地について 3 地点の平均値とした。自然林の土壌中の炭素・窒素含有量は 0.48～4.90%（炭素）、0.04～0.30%（窒素）で、試料採取深度が浅い箇所で含有量が多く、深くなるにつれ少なくなった。一方、試験地の土壌中の炭素・窒素含有量（図-10A、表-5）は 0.10～0.61%（炭素）、0.02～0.05%（窒素）と自然林の値が示すような試料採取深度との間に関係性がなかった。広葉樹での炭素・窒素の分析事例では（戸田ら 1996）、0-10cm で全炭素 13.0%、全窒素 0.54%、10-20cm でそれぞれ 9.8%、0.35%であった。試験地の全炭素はこの事例の 30 分の 1 から 50 分の 1 程度、全窒素は 10 分の 1 から 15 分の 1 程度と極端に低かった。自然林の全炭素はこの事例の 3 分の 1 から 8 分の 1 程度、全窒素は 2 分の 1 から 3 分の 1 程度と低かった。

CN 比（図-10B、表-5）については、戸田ら（1996）の事例では、0-10cm で 24.2、10-20cm で 27.9 であったのに対して、試験地の 3 点の平均値はそれぞれ 8.3（0cm）、10.1（10cm）、8.0（30cm）、自然林では 15.1（0cm）、12.1（10cm）、13.1（30cm）であった（表-5）。また、別の先行研究による CN 分析の結果、18.1、18.5（千原ら、2000）、13.1～16.3（吉田ら、1979）、12.1～16.0（吉田ら、1980）と比較すると自然林では同程度、試験地ではやや低い値であったものの両調査地ともに極端な値ではなかった。

試験地の土壌の軟らか度（図-10C）は 3 地点で 0 から 20cm までは根系に何らかの阻害があるとされる 0.7 から 1.5 の範囲内であり、概ね 50cm までは多くの根が侵入困難とされる 0.7 を下回ることはなかった。一方で、試験地の 2 地点において 30cm 付近に 4.0 を超える箇所があり、表層と 30cm 付近で軟らか度の逆転現象がみられた。自然林の土壌の軟らか度は斜面上・中・下ともに 0 から 10cm までは 1.5 から 3.0 と根系発達に阻害のない値の範囲内であった。10cm 以深では次第に軟らか度が低下し、30cm では概ね 0.7 程度であった。また、根系発達に阻害のない軟らか度 1.5 以上の土壌深は、自然林では 20cm 程度までであるのに対して、試験地では 40cm 程度までと自然林よりも厚い土壌深が確認された。試験地の土壌は根系発達に阻害のない軟らか度が自然林の 2 倍の 40cm 程度まで続いていたり、表層と 30cm 付近の軟らか度の逆転現象が見られたりと耕作時の影響が残る場所であると考えられた。

土壌の透水性（図-10D、表-5）については自然林では土壌採取深 0cm が最も良く、深くな

表-5　試験地と自然林の土壌理化学性

試料採取地点名	深度 (cm)	C(%)	N(%)	CN比	三相（%）			飽和透水係数 (cm/sec)
					気相	液相	固相	
試験地	0	0.29	0.04	8.31	8.97	42.50	48.53	1.410.E-04
	10	0.36	0.03	10.13	15.53	40.00	44.47	1.077.E-02
	30	0.22	0.03	7.98	15.27	42.27	42.43	1.777.E-05
自然林	0	4.15	0.27	15.11	18.80	42.77	38.43	3.794.E-03
	10	1.27	0.10	12.07	10.07	40.73	49.20	8.739.E-04
	30	0.68	0.05	13.07	5.53	39.93	54.53	1.325.E-04

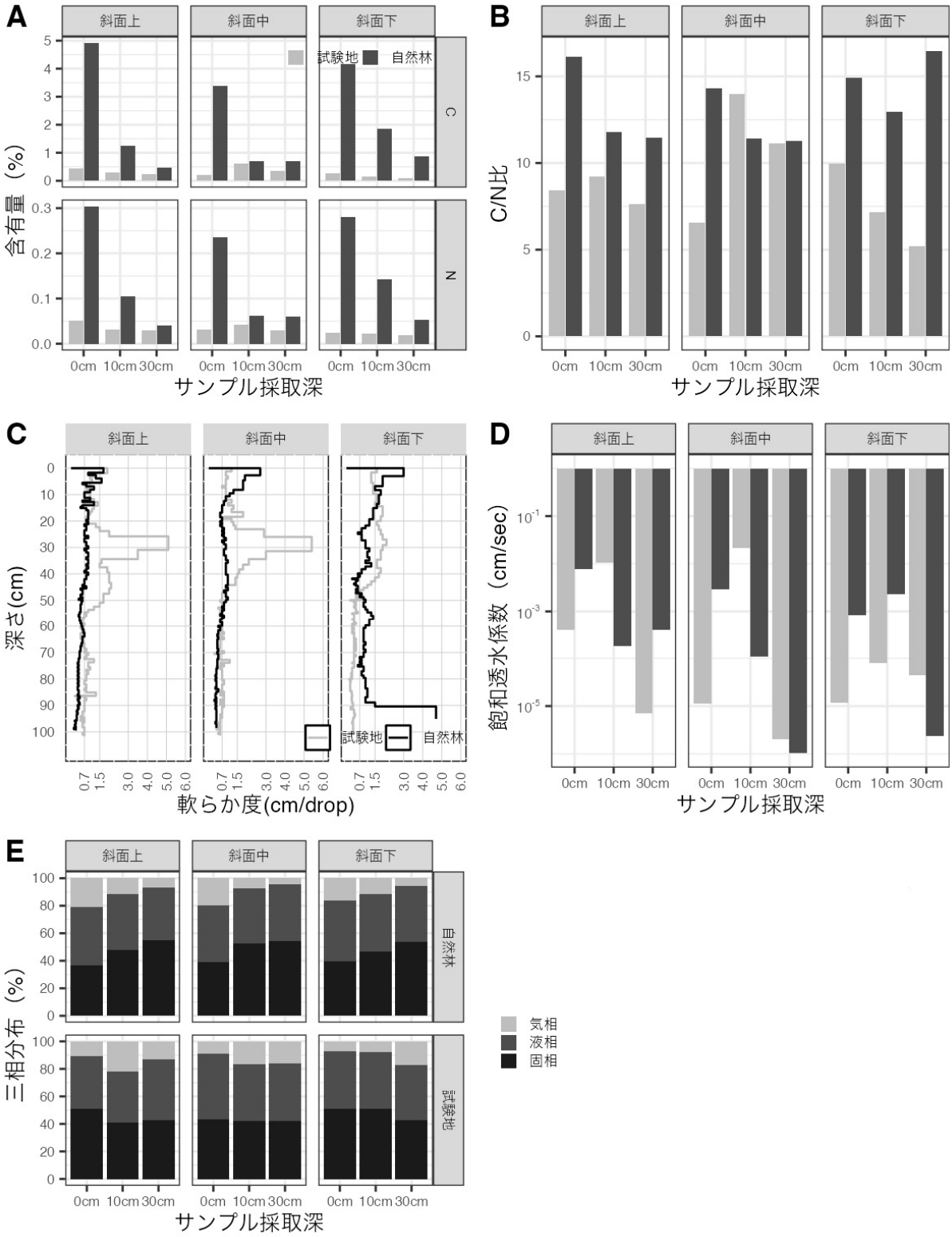

図-10　試験地と自然林の土壌理化学性

A：土壌中の炭素・窒素含有量、B：土壌中の炭素・窒素含有量に基づく CN 比、C：長谷川式土壌貫入計により測定した土壌の軟らか度、D：100ml 円筒試料による飽和透水係数、E：100ml 円筒試料による三相分布、注）試験地は平坦であるが、便宜上、調査地点を斜面上中下と表す。

るにつれ悪くなる傾向にあった。試験地では10cmの透水性が最も良く、次いで0cm、30cmと悪くなる傾向にあり、自然林とは異なり0cmと10cmの透水性の値が逆転していた（飽和透水係数が大きくなると透水性が良く、小さくなると透水性が悪くなる）。

三相分布（図-10C、表-5）は気相に着目すると、試験地では0cmの気相の割合が最も低くなった。一方、自然林では土壌採取深0cmで割合が最も高く、深くなるにつれ割合が低くなった。土壌中の孔隙率とガス拡散速度の間には正の相関があり、ガス拡散係数は気相率との関係を主として報告されており（石塚、2006）、孔隙に含まれる水分が多いほどガスの拡散速度は低下する（篠宮、2011）。つまり、試験地では気相率が低い、すなわちガス拡散速度の遅い土壌が表層にあることで、自然林の土壌と比較してガス拡散が一定程度阻害されていると考えられた。また、土壌断面の簡易的な調査から、試験地では自然林で見られなかったグライ斑が観察されたことから土壌が嫌気的な条件下にあると考えられた。

土壌クラストは土壌表面に形成される堅密な薄層構造で、降雨や潅水途上の薄層形成による目詰まり現象後、乾燥過程を経て形成されたもので、畑土壌では普遍的にみられる現象である（田中、1995）。宮良ら（1999a）による国頭マージを用いた室内試験では、雨滴の衝撃に伴う土壌表層の透水係数の変化の観測により40分間の降雨後には構造クラストの形成が確認された。また、宮良ら（1999b）により透水性はクラストの形成により大きく抑制され、クラストが土壌の浸透性に及ぼす影響が裸地区において著しいことが確認されている。クラスト形成タイプには4つの類型があり、その1つに団粒の崩壊による密な層とその表層に細粒質の沈積による皮膜を有する形態があるとされている（田中、1995）。上記のことなどから、透水性の抑制や団粒の崩壊による密な層の形成による気相や軟らか度の逆転現象は試験地が一度裸地化したことによるクラストの形成と密接に関係していると考えられた。以上により試験地の土壌環境は、付近の自然林と比較して炭素・窒素含有量が少ないこと、表層に気相率が低くガス拡散速度の遅い土壌で覆われていることから樹木の成長には不利であると考えられた。一方で、土壌の軟らか度は概ね50cmの深さまでは根の侵入が容易な膨軟さで、軟らか度という観点からは樹木の成長に有利であると考えられた。

（5）森林化困難地域における植栽適木

試験対象とした6樹種について、植栽4年目の生存率、平均樹高、平均成長量、平均地際径、根系の発達状況から考えて、*Melaleuca*属2種とヤマモモは森林化困難地の植栽適木と考えらえた。

カユプテは酸性土壌と洪水に対する抵抗力が強いことが知られている（松田、2002）。また、同じ*Melaleuca*属でベトナムやメコンデルタに天然分布する*Melaleuca cajuputi*（宮武・鈴木、2000）については、湿地帯に生育し根圏の酸素欠乏に耐え、貧酸素害を回避するメカニズムを持っている可能性が指摘されている（Yamanoshita、2001）。森林化困難地域で*Melaleuca*属2種の生育が良好だった要因として、嫌気的な土壌環境に適応したことが考えられた。今後土壌の化学性についても確認することで、さらに*Melaleuca*属の適応の要因解明にも寄与する。ただし、カユプテは、風倒被害を受け易い水平根型の根系形態となる可能性があるので、注意が必要である。

アルテルニフォリアは、諏訪ほか（2018）による沖縄島北部の畑地環境における植栽試験で植栽後3年で樹高3～5mの良好な成長がみられており、森林化困難地域では、その半分程度の平均樹高ではあったが、根系の発達も深さ40cm以上まで達していることが確認され、今後の成長が期待される。

ヤマモモについては、愛知県瀬戸地方の表

土が侵食され土壌が硬く乾燥したせき悪地においても良好な成長を遂げており、根粒菌との共生がその要因の一つであるが、他にも根の伸長力の強さ、水分や養分に対する要求度の低さが他の根粒植物よりせき悪地に耐えうる特性を有している結果であると指摘しており（中島・大塚、1960）、森林化困難地域の土壌環境でも同様の結果であった。ヤマモモは非マメ科の代表的な根粒植物で（植村、1965）肥料木として知られているが、本調査の試験地においても根粒を確認することができた。ヤマモモの混交は林木へ供給する窒素を増加させ、その効果は特に立地の悪い場所で大きいとされる（劉ほか、2000）。また、クロマツやアカマツとの混植ではマツ類の成長が促されることが確認されており（伏見、1993）、沖縄島北部のリュウキュウマツ人工林においてヤマモモとの混植が成長に効果が認められた事例があり（安里ほか、1994）、森林化困難地域における肥料木として炭素・窒素量の少なさ、とりわけ窒素量の改善に資すると推察された。

イジュは地上部の発達は小さかったが、生存率は高く、根系が発達していた。また、周辺の自然林においては多数のイジュの成木が見られたことから、初期成長速度が遅いという結果のみで森林化困難地域への植栽に適していないと判断するべきではなく、長期的な経過観察が必要であることが明らかとなった。

ハマセンダンは、本県において、在来の早生樹種として着目されているが、今回の結果では生存率が非常に低く、樹高成長も期待できないことから、森林化困難地域での植栽は不適であることが明らかとなった。

なお、*Melaleuca*属2種は外来種であり、造林樹種としての導入は慎重に検討する必要がある。一方で、*Melaleuca*属は東南アジアやオーストラリアでは精油原料としての需要も高く（Brophy *et.al*、2013）、諏訪ほか（2018）の報告のとおり、沖縄島北部地域の赤土土壌において、精油原料の特用林産物としての栽培の可能性も視野に入れるべきと言える。

本研究では、森林化困難地域への植栽適性の検討対象とした 6 樹種について、地上部の樹高や地際径の成長及び根系の発達の違いを明らかにした。その結果、根系の発達と地上部の成長は完全にリンクしない樹種があることがわかった。森林化困難地域の植栽適木については、他の樹種についての検討が必要であるが、植栽適性を検討する際には、地上部の成長だけでなく、当該地の土壌環境で根系がどのように発達するか調べていく必要がある。また、その土壌環境について、主に物理性に着目して調査を行い、対象樹種の特性を検討した。今後は土壌化学性の詳細な分析、土壌温度や含水率の経時調査も加え、植物の生育環境に影響を与える要因を検討することで、森林化困難地域の早期森林化にとどまらず、本県における森林造成全般に役立つ成果が期待される。

謝辞

琉球大学農学部諏訪准教授におかれましては、*Melaleuca* 属の種子の提供にご協力いただき感謝申し上げます。

引用文献

安里練雄、平田永二、生沢均、寺園隆一（1994）日林九支研論集 47:37-38

Brophy Joseph J.*et al.* (2013)*MELALEUCAS THEIR BOTANY,ESSENTIAL OILS AND USES.* 62pp、The Australian Centre for International Agricultural Research 、Australia

千原麻由、小柳信宏、戸田浩人、生原喜久雄（2000）森林環境資源科学 38：97-106

伏見知道（1993）愛媛大学農学部演習林報告 31：1-14

石塚成宏、阪田匡司（2006）森林立地 48：9-15

苅住昇（2010）最新　樹木根系図説　総論 pp937、誠文堂新光社、東京
国土地理院　地図・空中写真閲覧サービス URL:https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1（2024 年 11 月 22 日利用）
松田道雄（2002）熱帯林業 55：37-43
宮良志乃、志茂守孝、宜保清一、翁長謙良（1999a）琉球大学農学部学術報告 46：109-112
宮良志乃、志茂守孝、大城友和、翁長謙良、呉屋昭（1999b）琉球大学農学部学術報告 46：113-119
宮武文典、鈴木千喜（2000）熱帯林業 48：64-66
中島主一、大塚通男（1960）演習林 13：89-98
沖縄県農林水産部林務課、沖縄県林業試験場（1981）民有林適地適木調査報告書第 3 報（大宜味、東、国頭、伊是名島、伊平屋島）pp53
沖縄県農林水産部森林管理課（2025）沖縄県森林クラウド（2024 年 11 月 22 日利用）
沖縄県緑化推進委員会（2005)沖縄有用樹木要覧. pp166
劉発茂、生原喜久雄、戸田浩人（2000）日本林学会誌 82（3）：234-242
篠宮佳樹（2011）樹木医学研究 15：64-67
諏訪竜一、谷口慎吾、高嶋敦史（2018）科学研究助成費研究報告書　課題番号 25450218（KAKEN：科学研究費助成事業データベース（国立情報学研究所））（ https://kaken.nii.ac.jp/grant/KAKENHI-PROJECT-25450218/ ）
只木良也（1997）森林科学 20:37-40
田中　樹（1995）土壌の物理 71：17-21
戸田浩人、鈴木美恵子、生原喜久雄（1996）森林環境資源科学 34：33-43
植村誠次（1965）化学と生物 3（9）：471-476
Yamanoshita Takashi,Tanit Nuyim,Masumori Masaya,Tange Takeshi,Kojima Katsumi ,Hisayoshi Yagi & Sasaki Satohiko (2001)Journal of Forest Research 6: 217-219
吉田重明、三宅大浄、仁王以智夫（1979）日本森林学会誌：61：21-25
吉田重明、春田泰次、仁王以智夫（1980）日本森林学会誌 62：230-233

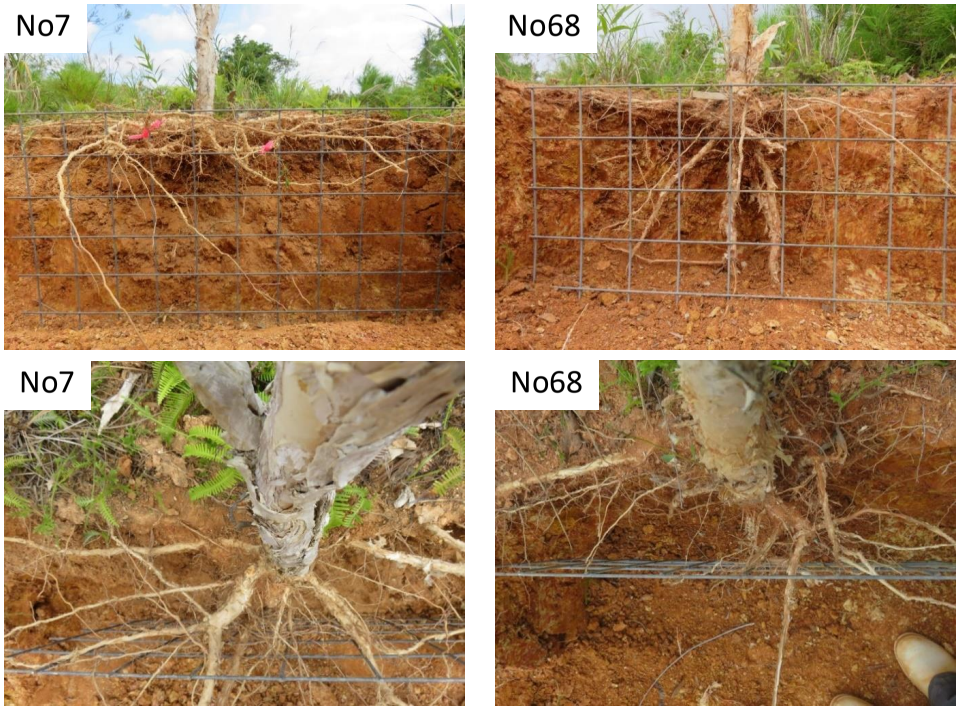

図-11-1 カユプテの根系（上段:断面方向から撮影、下段：垂直方向から撮影）

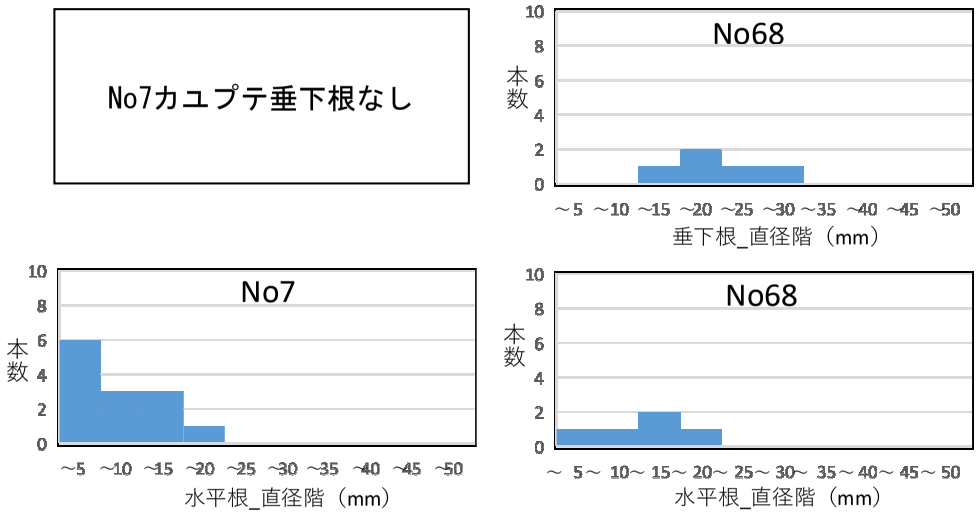

図-12-1 カユプテの根系直径階度数分布（上段:垂下根、下段：水平根）

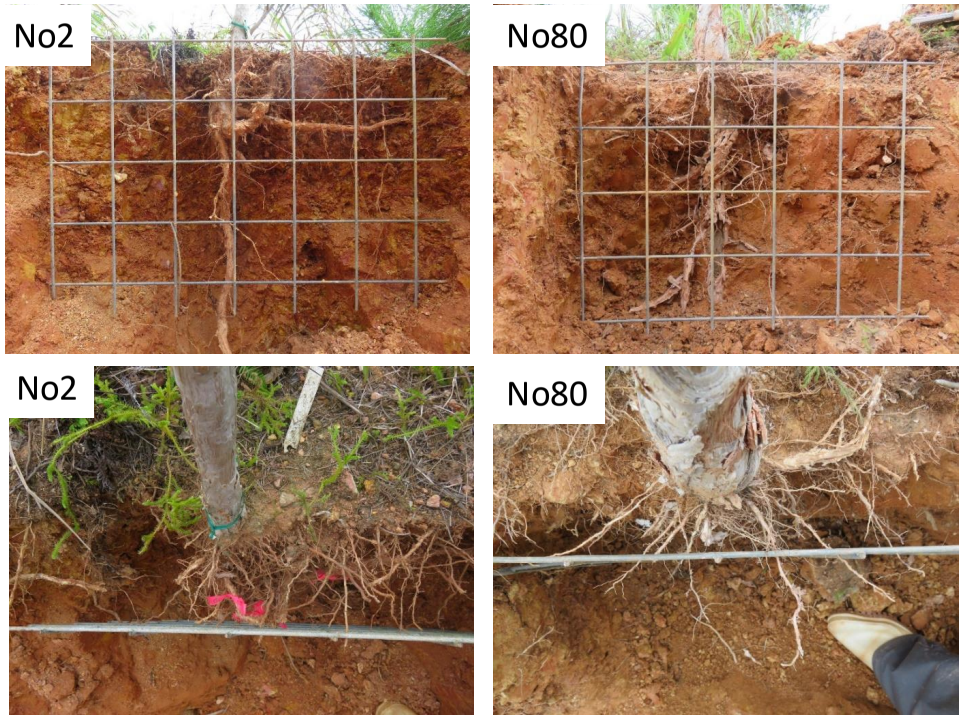

図-11-2 ｱﾙﾃﾙﾆﾌｫﾘｱの根系（上段:断面方向から撮影、下段：垂直方向から撮影）

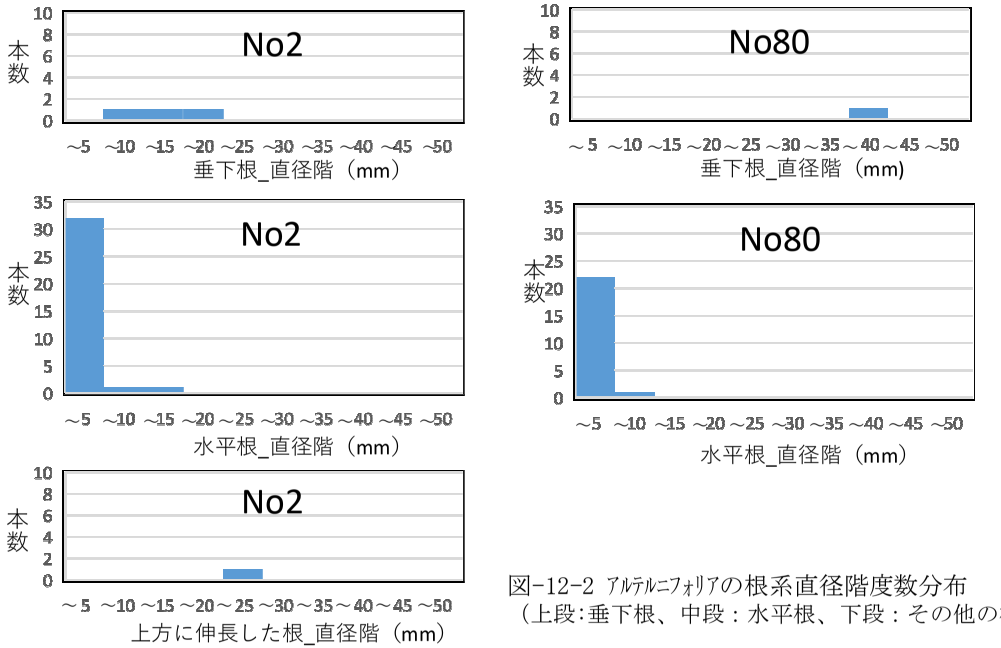

図-12-2 ｱﾙﾃﾙﾆﾌｫﾘｱの根系直径階度数分布
（上段:垂下根、中段：水平根、下段：その他の根）

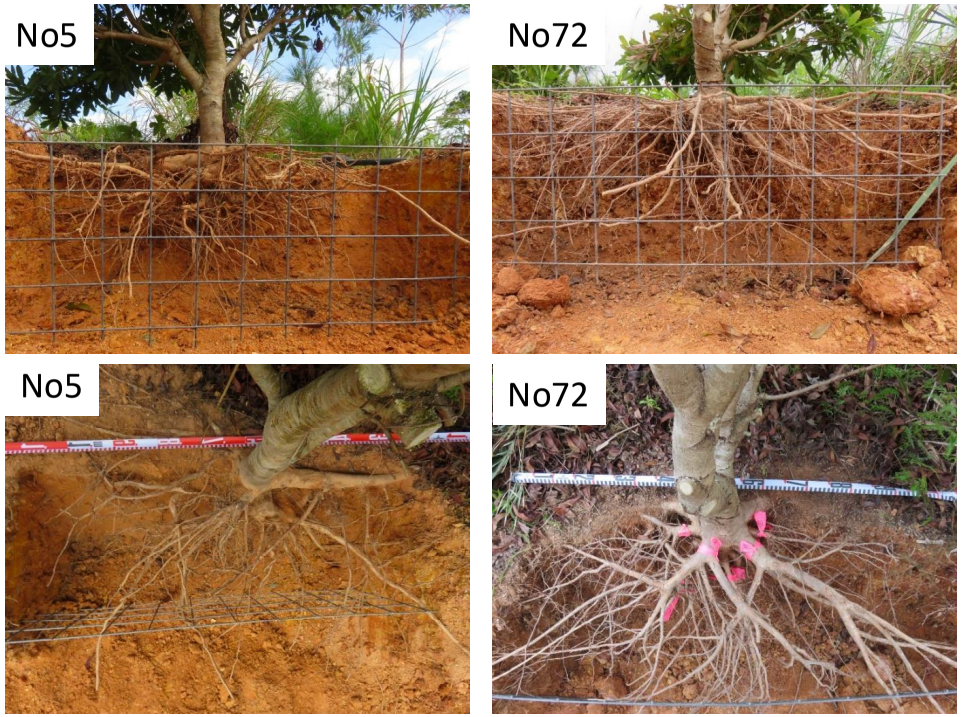

図-11-3 ヤマモモの根系（上段:断面方向から撮影、下段：垂直方向から撮影）

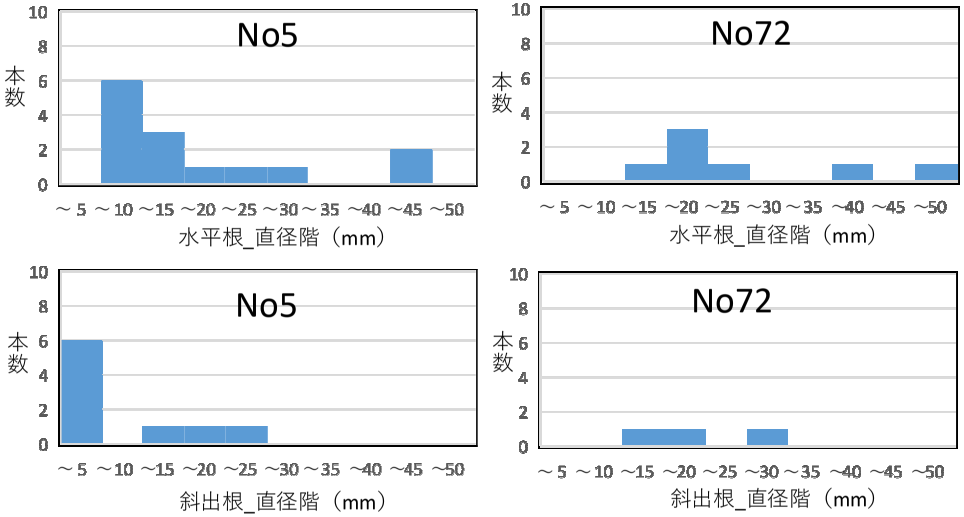

図-12-3 ヤマモモの根系直径階度数分布（上段:水平根、下段：斜出根）

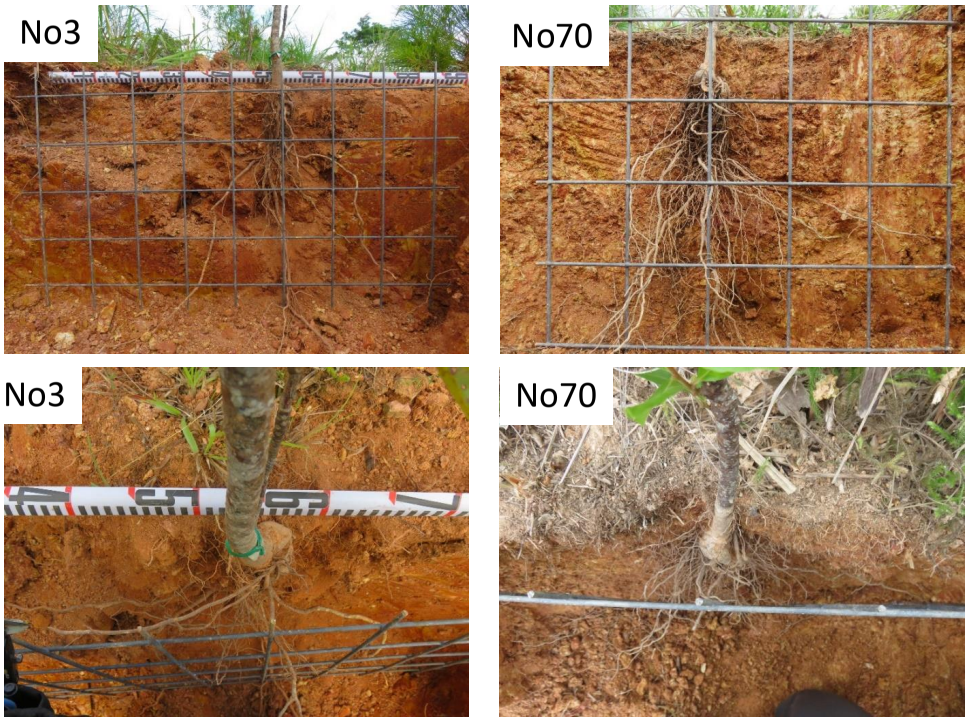

図-11-4 イジュの根系（上段:断面方向から撮影、下段：垂直方向から撮影）

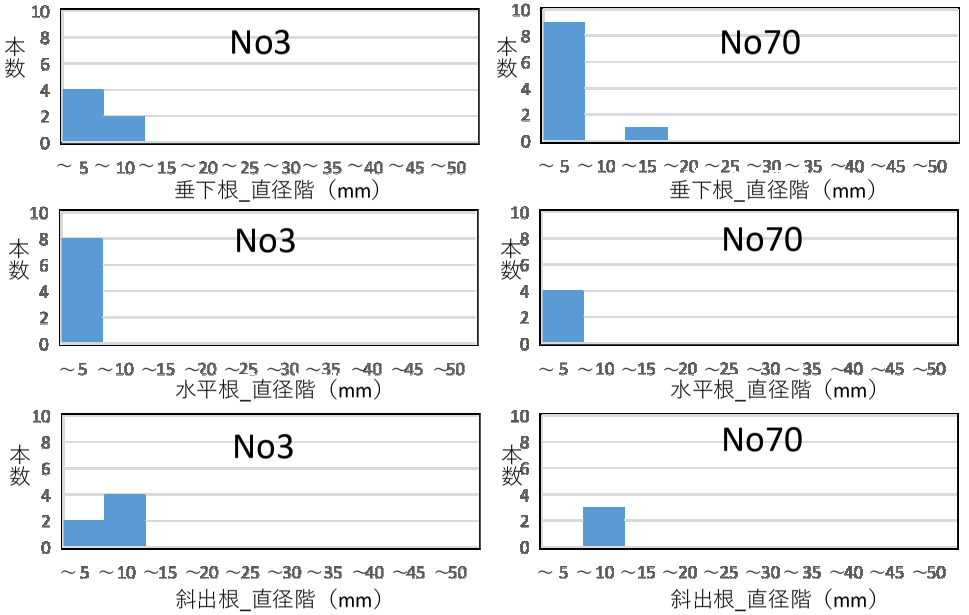

図-12-4 イジュの根系直径階度数分布（上段、垂下根、中段:水平根、下段：斜出根）

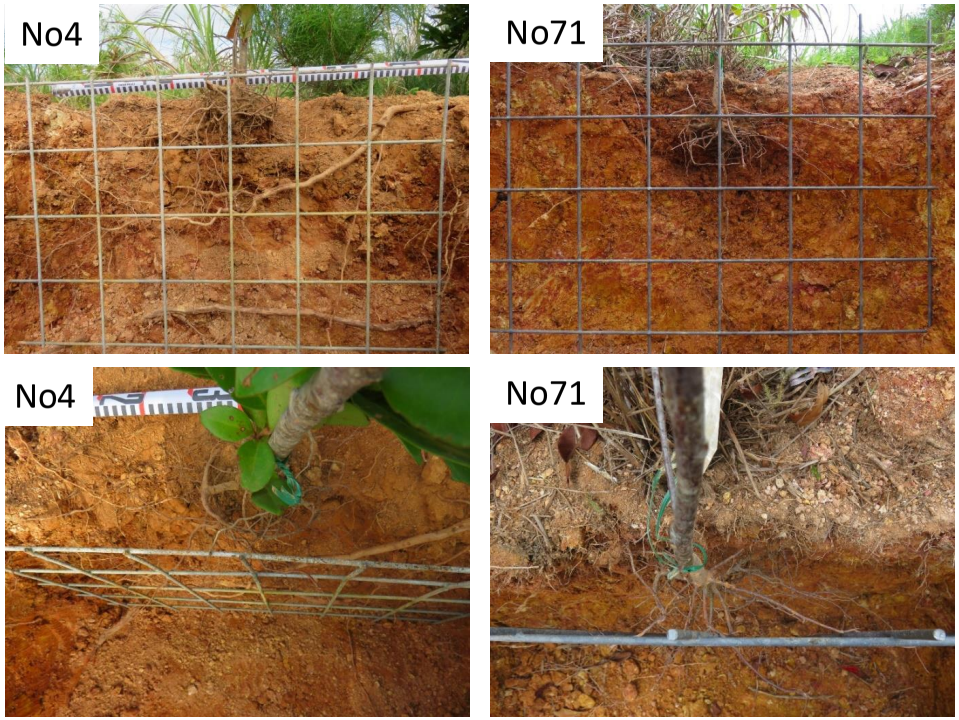

図-11-5 シャリンバイの根系（上段:断面方向から撮影、下段：垂直方向から撮影）

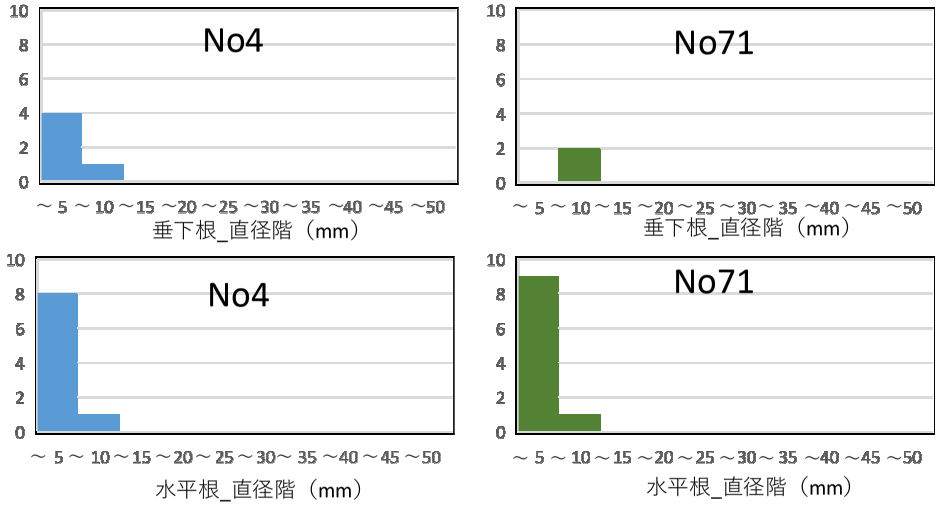

図-12-5 シャリンバイの根系直径階度数分布（上段:垂下根、下段：水平根）
※ ルーピングした根を含む。