

論文

ウラジロエノキにおける若齢林の樹高と土壌環境との関係^{*1}玉城雅範^{*2}・鳥山淳平^{*3}・井口朝道^{*2}・森大喜^{*3}・酒井佳美^{*3}・大貫靖浩^{*4}

玉城雅範・鳥山淳平・井口朝道・森大喜・酒井佳美・大貫靖浩：ウラジロエノキにおける若齢林の樹高と土壌環境との関係 九州森林研究 74：37－41，2021 ウラジロエノキの立地環境を明らかにするため、若齢林の樹高と土壌環境との関係を検討した。検討にあたり、土壌含水率と併せて、簡易的に土壌深を調査する手法として（独）土木研究所開発の土層強度検査棒（以下土検棒）による調査を行った。その結果、ウラジロエノキの樹高と土壌深には正の弱い相関関係が確認された。また、決定木解析により、樹高に対応した土壌環境の分類を行った結果、説明変数として土壌深のみが選択され、土壌深が37.7 cm以上、19.2 cm以上37.7 cm未満、19.2 cm未満の3つのグループに分割された。各グループ間の樹高は、有意な差が確認され、土壌深が深い程、良好な生育を示した。以上より、若齢のウラジロエノキの生育環境を整えるには、土壌深を深くし、その目安として、土検棒から得られる土壌深を少なくとも40 cm程度とすることが必要と考えられた。

キーワード：早生樹、ウラジロエノキ、土層強度検査棒、土壌深、樹高

I. はじめに

沖縄県では、環境負荷の低減と低コスト施業を目的に、造成未利用地等において、早生樹による短伐期施業を行うこととしている。早生樹の候補には郷土樹種を検討している。ウラジロエノキ (*Trema orientalis*) は郷土樹種であり、成長が早く、材は軽く加工性にも優れていることから、沖縄県では早生樹として重要な候補である。本樹種は、既に学童机に使用されているなど家具材等として需要が見込まれている。

ウラジロエノキの研究については、種子の採取時期や播種方法、鉢上げ用土、施肥量など育苗関連を中心に行われてきた（例えば、金城ら，2009；比嘉，2015；寺園・玉城，2015）。また、植栽後の生育状況については、植栽から18ヶ月後の成長量（金城ら，2009）と11年生までの樹幹解析（金城，2012）について報告されているが、これまで立地環境の調査は行われていない。

樹木の生育には、土壌の物理環境が影響しており、特に土壌硬度は、根系発達に影響が大きく（増田ら，1991）、根系発達と樹高や根元径は正の高い相関関係が認められている（佐藤，1995）。そのため、地上部の生育には、根系の伸長可能な土壌硬度の分布（以下、土壌深）が重要となる。また、ウラジロエノキは、水分条件に恵まれた場所で良好な生育を示すとされており（高嶋，2013）、土壌水分も土壌硬度と同様に生育に影響を与えると考えられる。そこで、本研究ではウラジロエノキの若齢林について、地上部の生育状況と土壌環境との関係を検討したので報告する。

II. 材料と方法

試験地は沖縄県国頭村内の村有林18林班である。同試験地は耕作地かつリゾート分譲予定地として造成された後、放置された

箇所であり、ほぼ平坦な地形となっている。ウラジロエノキの植栽は2015年3月にMスターコンテナ苗を用いて、1 ha当たり2,000本の密度で行い、調査時には4年生となっている。

試験地では3つの試験区を設け、それぞれに5~7 mの長方形小ブロックを8及び12区画設置し、調査を行った（図-1）。なお、試験区3のブロック1Dでは立木がなかった。

地上部の生育状況の指標は、密度の影響が小さいと考えられる樹高とした。樹高の測定は、2019年8月19日（試験区3）と11月15日（試験区1, 2）に行った。

土壌硬度と樹木根密度の関係を調べるため、2016年12月21日に土壌断面調査を行った。試験区3の成長が良好な1地点と、成長不良の1地点において深さ40 cmまでの土壌観察断面を作成した。深さ10 cm間隔で山中式土壌硬度計の測定値（10反復）と、根の量（2 mm未満の細根と2-5 mmの中根、10 cm×10 cm内のカウント数）を調べた。

土壌深と土壌含水率の測定は、2019年11月15日に行った。今回の試験地は、元々傾斜があった箇所を平らに造成しているため、土壌環境が不均一であることが考えられる。そのため、土壌調査を行う上で面的な調査が必要となる。簡易的に土壌深を調査する手法として土層強度検査棒（国立研究開発法人土木研究所開発、以下土検棒）による調査を行った。土検棒では3種類の異なる調査を行うことが出来るが、今回の調査では、土検棒のハンドルを人力で押し込み、コーンが貫入できる限界から土壌深度を測定する限界貫入深度試験を行った（金井ら，2016）。土検棒による調査は、最大50 cmまでの深さとした。また、土検棒が止まる深度がどの程度の土壌硬度であるかを把握するために、長谷川式土壌貫入計（ダイトウテクノグリーン社製、以下貫入計）による調査も併せて行い、土検棒が止まった深度の地上部方向と地下部方向のそれぞれ5 cm、10 cm間の平均S値（軟らか度cm/drop）

^{*1} Tamashiro, M., Toriyama, J., Iguchi, T., Mori, T., Sakai, Y. and Ohnuki, Y.: Relationship between tree height and soil environment in young plantations of *Trema orientalis*.

^{*2} 沖縄県森林資源研究センター Okinawa Pref. Forest Resource Research Ctr., Nago, Okinawa 905-0012, Japan

^{*3} 森林総合研究所九州支所 Kyushu Res. Center, For. & Forest Prod. Res. Inst. (FFPRI), Kumamoto 860-0862, Japan

^{*4} 森林総合研究所東北支所 Tohoku Res. Center, For. & Forest Prod. Res. Inst. (FFPRI), Morioka 020-0123, Japan

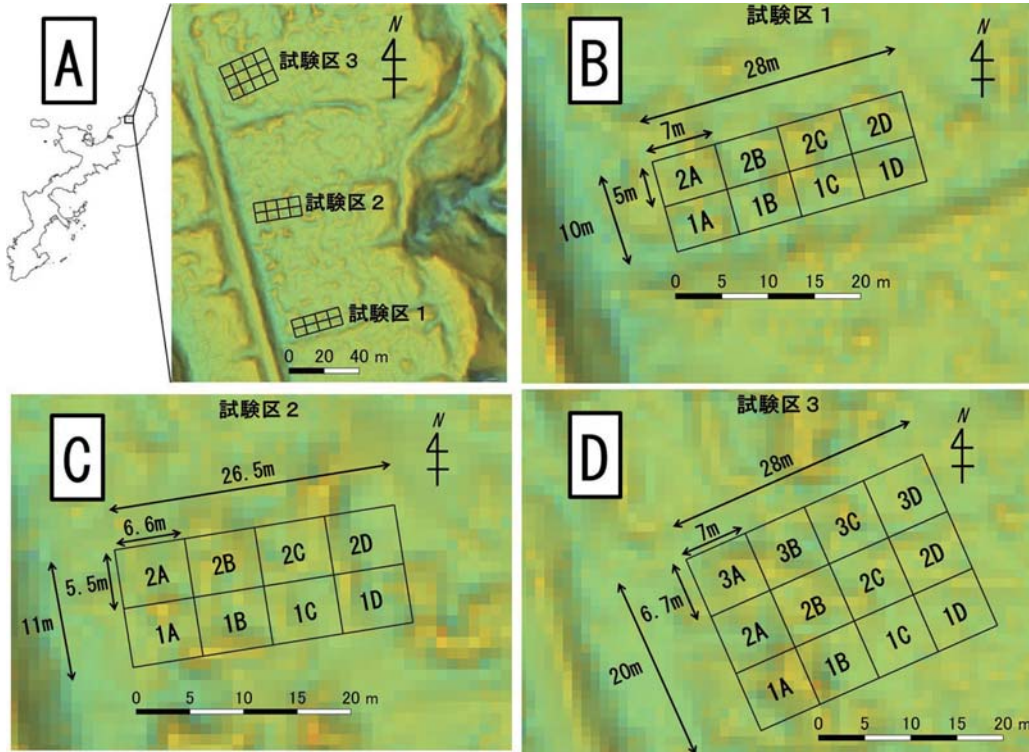


図-1. 試験区及び各試験区の小ブロックの配置

黒い枠が試験地を示す。Aが試験区配置，Bが試験区1，Cが試験区2，Dが試験区3である。各図面の背景は、地形起伏図としており、黄色が凸面、緑が凹面を示す（沖縄県農林水産部森林緑地課，2012）。

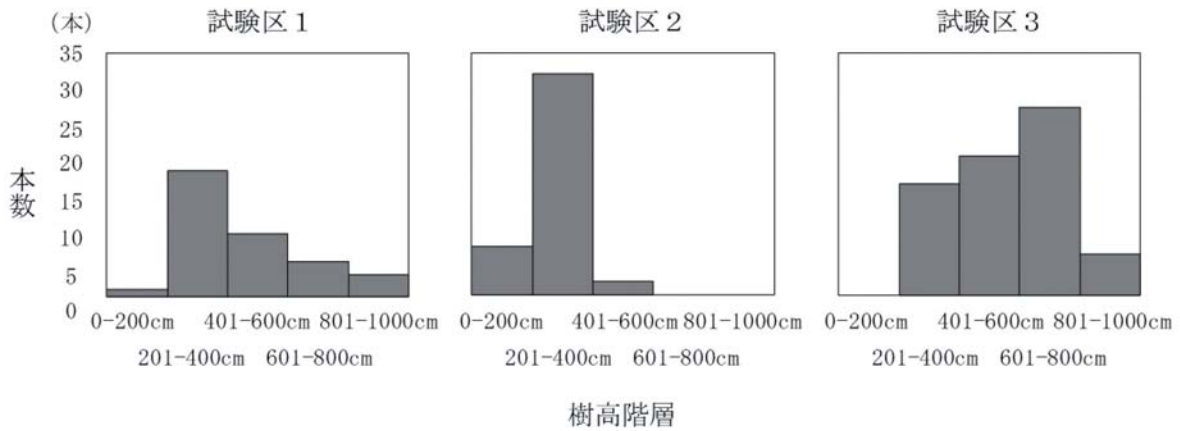


図-2. 各試験区の樹高階層毎の本数

を算出した。貫入計の測定にあたり、S値が1を連続で複数回、下回った場合は、次の打撃以降、5回連続で重りを落下させ、値を読みとり、1回落下当たりのS値を算出した。貫入計の測定終了は、測定の深さが50cmを超えた時点、若しくは、5回連続で重りを落下させ、読み取り値が1を下回った時点とした。土壌含水率はHydrosense II（Campbell Scientific, Inc. 製、センサー長：20cm）により、表層からセンサー差し込み、測定した。

各測定位置は互いに重ならないように、各小ブロックの中心とした。土検棒の測定にあたっては、各小ブロック3名が1回ずつ測定を行い、その平均値を各ブロックの代表値とした。土壌含水率の測定は、各小ブロック3回ずつ測定を行い、その平均値を各ブロックの代表値とした。

なお、調査日以前の降雨状況は、試験地から最寄りの地域気象

観測所（国頭村比地地内）の観測値では、2019年10月27日に日降雨量が10mmであった以降、調査日までは1日（11月7日）1mmを記録した以外、19日間まとまった降雨は確認されていなかった（気象庁，2020）。

解析にあたっては、R ver.3.6.0（R Development Core Team 2019）を使用し、樹高と土壌深及び土壌含水率の関係をピアソンの積率相関により確認した。また、決定木解析により、樹高に対応した土壌環境の分類を行った。なお、決定木解析はパッケージ rpart により解析を行い、パッケージ partykit により作図した。決定木解析のパラメータは交差確認法により、minsplit=50, cp=0.042 の条件で行った。

Ⅲ. 結果と考察

1. 地上部の生育状況

立木調査の結果、試験地では、175本が確認されたが（試験区1：37本、試験区2：50本、試験区3：88本）、先枯れや枯損によって解析対象を146本（試験区1：36本、試験区2：41本、試験区3：69本）とした。なお、試験区3で1本のみ枯損であった以外は、先枯れであった。各小ブロックの解析対象本数は、1～11本となった。

各試験区の樹高を頻度分布で示す（図-2）。試験区1、2ともに201-400 cm階が最頻値となっているが、試験区1は801-1000 cm階まで広く分布し、バラツキがみられるに対し、試験区2は401-600 cm階までしか分布がなく、狭い範囲となっていた。試験区3は、601-800 cm階が最頻値となり、他の試験区に比べ、樹高が高い個体が多くなっていた。

2. 土壌硬度と樹木根密度

土壌硬度と樹木根密度は、生育の良好地点と不良地点で、明瞭に異なっていた（写真-1、写真-2）。生育良好地点では、深さ30 cmまでの山中式土壌硬度計による測定値が18 mm未満と低く、透水性も比較的高いと考えられたが、深さ30 cm以深で急激に硬くなった（表-1）。樹木根は生育良好地点では、深さ0-20 cmの表層で比較的多かった。一方、生育不良地点では全体的に山中式土壌硬度計による測定値が20 mm以上と高く、緻密な土壌構造をもつと考えられた。樹木根も少なく、植栽木の土壌からの吸水が困難であることが示唆された。

3. 土壌深と土壌含水率の状況

各試験区の小ブロックの土壌深と土壌含水率を頻度分布で示す（図-3）。土壌深は、最頻値が試験区3、1、2の順番で高い階層となっていた。また、10 cm以下は確認されなかった。土壌含水率は、各試験区ともに25.1～40.0%の範囲となり、28.1-31.0%階や31.1-34.0%階が最頻値となった。本研究では、土壌深と土壌含水率に有意な相関が確認されなかった（ $p > 0.05$ 、図-4）。

4. 土壌深と土壌硬度との関係

土検棒が止まった深度の地上部方向と地下部方向の土壌硬度の違いを図-5に示す。各層の平均S値は、土検棒が止まった深度



写真-1. 生育良好地点の土壌



写真-2. 生育不良地点の土壌

表-1. 土壌硬度と樹木根密度

地点	深さ (cm)	土壌硬度 (mm, 平均±標準偏差)	細根 中根 (N/100cm ²)	
			細根	中根
生育良好	0-10	17.6 ± 1.7	20	15
	10-20	16.5 ± 2.2	10	10
	20-30	14.9 ± 1.8	5	2
	30-40	22.7 ± 3.1	5	2
生育不良	0-10	20.5 ± 1.4	5	2
	10-20	22.6 ± 2.2	2	2
	20-30	23.4 ± 1.4	2	2
	30-40	24.3 ± 1.8	1	0

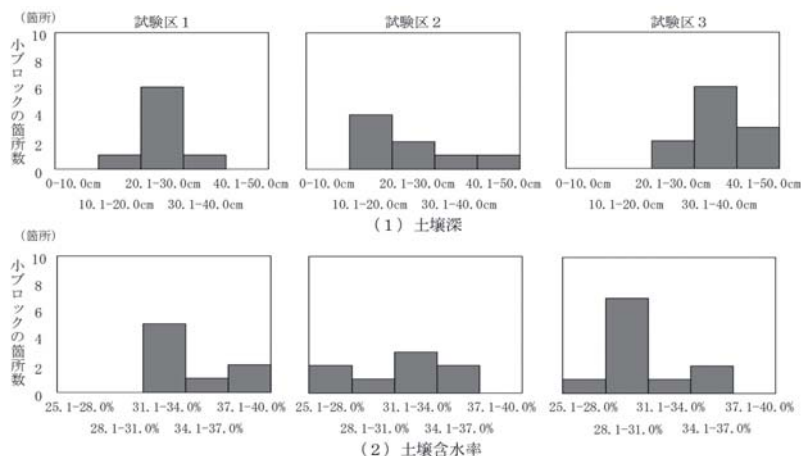


図-3. 各試験区の土壌深と土壌含水率階層毎の小ブロック数

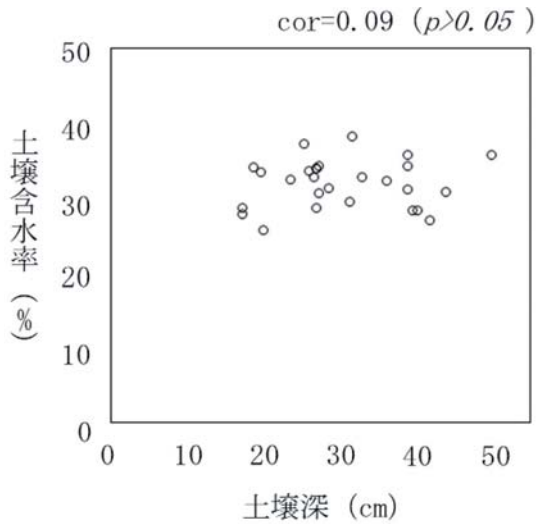


図-4. 土壌深と土壌含水率の関係
corは相関係数を表す。

から地上部方向へのU5（上部5 cmの平均値）が0.56（±0.26）（以下、平均値（±標準偏差）とする）、U10（上部10 cmの平均値）が0.62（±0.27）であったのに対し、地下部方向へのD5（下部5 cmの平均値）が0.39（±0.20）、D10（下部10 cmの平均値）が0.38（±0.20）となり、地下部方向は近い値を示した。U5とD5、U10とD10の平均S値を比較した結果、土検棒が止まる深度は、貫入計のS値が平均値で0.4 cm/drop程度まで低下した層位であった。

貫入計のS値0.7以下は、山中式土壌硬度計による測定値の27 mm以上の硬度に相当する（ダイトウテクノグリーン（株），2020）。今回の試験地と同様の国頭マージを対象とした大貫ら（1994）の研究においては、土壌断面のB層とC層の境界を25 kg/cm²（山中式土壌硬度計による測定値の28~29 mm相当）としていることから、土検棒が止まった深度から10 cm地上部方向以深は、概ねB層とC層の境界相当の土壌硬度を示す層位と考えられた。土壌断面の観察からも大きな礫混じりの赤く色づいた粘土質土壌の直上で土検棒が止まっていることが確認された。この

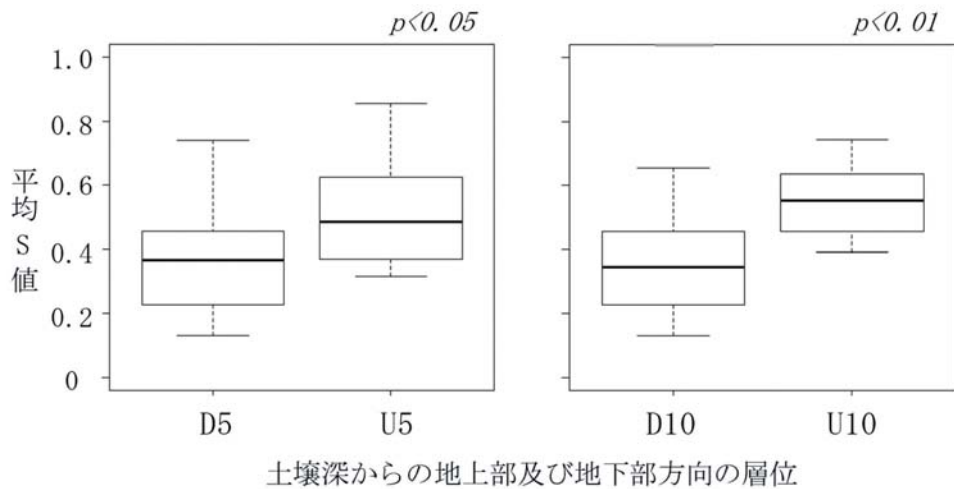


図-5. 土壌深からの地上部方向と地下部方向との土壌硬度の違い

Uは地上部方向、Dは地下部方向の層位を示し、数値は土検棒が止まった深度からの厚さ（cm）を示す。外れ値は図示していない。pはt検定の結果を示す。

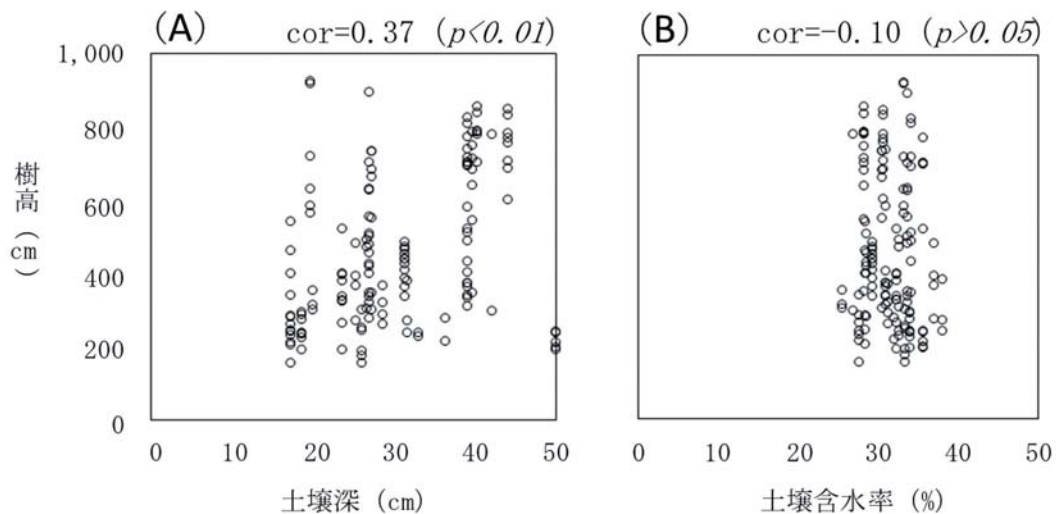


図-6. 全立木樹高と土壌深 (A)、土壌含水率 (B) との関係
corは相関係数を表す。

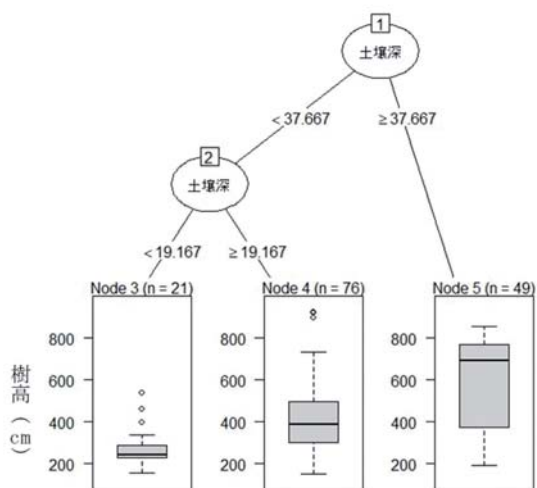


図-7. 決定木の解析結果

Node は分割された一つ一つを指す。n は各 Node に含まれる本数を示す。

ことから、造成時の切土、盛土の分布が、本調査地の土壤深および土壤硬度の空間的不均一性を決めている（図-3）と考えられた。

5. 樹高と土壤環境の関係

解析対象の全立木樹高と土壤深は正の弱い相関関係が確認された（図-6）。その要因として、盛土が厚く土壤深が深い程、根系が発達し、良好な生育状況になったと考えられた。一方で、土壤含水率は相関関係が確認されなかった（図-6）。土壤含水率については小ブロックによっては、地表が露出し、直射日光等による影響を受けたため、樹高に関わりなく、測定値にバラツキが生じたと考えられた。また、土壤含水率は測定日目の降雨状況や季節より変わると考えられるが、今回は1日のみの測定結果であったために、相関関係が確認されなかった可能性も考えられた。

決定木解析の結果も同様に、土壤含水率は説明変数として選択されず、土壤深のみ選択された（図-7）。全体は3つのグループに分割され、図下部は樹高の箱ひげ図が表示されている。最初に土壤深の37.7 cm以上と未満で分岐し、次に37.7 cm未満で19.2 cm以上と未満で分岐した。各グループの樹高は、土壤深が37.7 cm以上のグループでは592.8 cm（ ± 208.6 ）（平均樹高（ \pm 標準偏差）とする）、19.2 cm以上37.7 cm未満のグループでは423.6 cm（ ± 171.4 ）、19.2 cm未満のグループでは278.3 cm（ ± 88.8 ）となり、各グループ間の樹高で有意な差が確認され（ $p < 0.05$, Tukey法）、土壤深が深い程、良好な生育を示した。ウラジロエノキの根は、水平分布の浅根型であり（苧住, 2010）、今回の調査からも生育良好地点では深さ30 cmまでの土壤硬度が18 mm未満で、0-20 cmの表層で樹木根が多く分布していたことから（表-1）、若齢のウラジロエノキの生育環境を整えるには、土検棒から得られる土壤深が、少なくとも40 cm程度必要と考えられた。しかし、土壤深が37.7 cm未満でも生育が良好な個体や、土壤深が37.7 cm以上であっても生育不良な個体も確認された。その要因として、土壤深が浅く良好な生育を示した個体の多くは、周辺に林帯があり、先枯れ本数も少ないことから風当たりの緩和等周辺環境が影響したと考えられた（例えば、試験区1の1B, 1C, 1D）。一方で、土壤深が深く生育不良を示した個体は、試

験区2の1Dや試験区3の2Cで多く確認された。試験区2の1Dは、土壤断面の確認を行い、25 cmより地下部方向で多く礫が混じる断面が確認されたが、生育との関係については不明であった。試験区3の2Cは、解析対象本数が11本と最も多く、樹高も312~738 cmまで分布し、競争が生じているため、生育が不良な個体が多く含まれるため、土壤深が深くても生育不良な個体が多くなったと考えられた。

IV. おわりに

今回の結果より、土壤深が深い程、ウラジロエノキの生育が良好であることや生育環境を整えるためには土壤深が少なくとも40 cm程度必要であることが示唆された。一方で、土壤深が浅い場合であっても良好な生育を示す個体や土壤深が深い場合でも生育が不良な個体が確認されたことなどから、土壤深以外の生育に影響を与えると考えられる要因についても、今後検討が必要と考えられる。今回の結果では、樹高と土壤含水率との間に相関関係が確認されなかったが、乾燥ストレスがウラジロエノキの生育や生存に影響している報告がされていることから（Kono *et al.*, 2019）、測定日目の降雨状況や季節等の変化を考慮した上で、引き続き、樹高と土壤含水率との関係を検討していく必要がある。

引用文献

- ダイトウテクノグリーン（株）長谷川式土壤貫入計取扱説明書. URL: <https://www.daitoutg.co.jp/images/dlmanual/kannyu.pdf> (2020年11月2日利用)
- 比嘉享 (2015) 沖林試業報 25 : 9-10
- 金井哲男ら (2016) 日本応用地質学会平成28年度講演論文集 : 169-170
- 苧住昇 (2010) 最新根系図説総論, 937 pp, 誠文堂新光社, 東京
- 金城勝 (2012) 沖林試研報 53 : 15-18
- 金城勝ら (2009) 沖林試研報 50 : 43-45
- 気象庁 (2020) 気象庁ホームページ気象観測データ. URL: https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=91&block_no=1586&year=2019&month=&day=&view= (2020年11月2日利用)
- Kono Y *et al.* (2019) *Commun Biol* 2:8.DOI 10.1038/s42003-018-0256-7
- 増田拓朗ら (1991) 日緑工誌 16 (3) : 11-18
- 沖縄県農林水産部森林緑地課 (2012) 平成23年度やんばるの豊かな森林資源を活用した森林業構築事業報告書, 834 pp
- 大貫靖浩ら (1994) 日林誌 76 (4) : 355-360
- R Development Core Team (2019) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. URL: <http://www.R-project.org/>
- 佐藤孝夫 (1995) 北海道林試研報 32 : 1-54
- 高嶋敦史 (2013) 九州森林研究 66 : 37-39
- 寺園隆一・玉城雅範 (2015) 沖林試業報 25 : 34-35

(2020年11月5日受付; 2020年12月21日受理)