

木材の利用促進に関する研究

羽地龍志、松本幸礼、花城可英、嘉手苺幸男、上原健司、鷺田加奈子

木材の製材現場において、その性状を迅速に把握する評価法を確立することを目的に、平成20年度は木質性状評価に関する機器を選定・導入し、針葉樹であるリュウキュウマツの評価を試みた。平成21年度は沖縄県名護市の2地点に造林されたリュウキュウマツの立木を対象に非破壊評価を行ったほか、この立木を伐採した後に試験片を製作し、曲げ試験等による強度評価を実施した。平成22年度は、造林された地域による木材性状の差を検討するため、国頭村宜名真地域の4地点および国頭村奥地域の2地点を新規に追加した計3地域8地点で評価を実施した。

本報告は平成20年度から22年度にかけて実施された「亜熱帯島嶼域における森林の環境保全と資源利用に関する研究推進事業」の分担テーマの一部である。

1 はじめに

木材を工業的に使用する場合には強度的にも材質的にも均質な材料を入手することが望ましいが、生物材料である木材は金属材料やプラスチック材料などの工業製品と比較するとその性質が一定ではない。他府県の木材業界ではユーザーの用途に適した材質の製品を供給するために、建材として使用される頻度の高いスギやヒノキなどの丸太に対してグレーディング（等級分け）を実施している¹⁻³⁾。木材を破壊することなく、その性状を評価するグレーディング技術を確認するためには木材の強度、含水率、比重など木材性状に関する多くのデータを蓄積する必要があるため労力と時間を要すると考えられる。そのため生産量および流通量の多いスギやヒノキに関するグレーディング技術はかなり確立した技術と考えられるが、本土市場と比較して亜熱帯性木材は流通量が少ないためグレーディング技術は未だ確立されていない。

沖縄県に広く繁茂するリュウキュウマツを例に挙げると、リュウキュウマツは他の木材と比較して木目が美しく商品価値がある反面、小径木が多い、曲木が多い、比重のばらつきが大きい、供給量が不安定、など現状のまま乾燥平板などの用材として利用する際には不利になる点が多く競争力が弱い⁴⁻⁶⁾。グレーディングされていないため木材の良否の見極めはユーザーの技量に委ねられている部分も大きいと推定され、強度が要求される部分に適用する際、曲げ強度やヤング率等の木材性状が不明確なため安全率を大きく設定する必要があり部材寸法が大きくなる。このため過剰強度（オーバースペック）になりがちである。

また、リュウキュウマツの特徴の一つに高比重という点がある。比重が比較的高いため、他木材で同形状の製品を製作した場合、製品の総重量が重い。従って、安全率を過大に設定した製品は必然的に重く且つ可搬性が悪く、輸送コストの増加にも繋がる等新たな製品開発の妨

げとなる可能性がある。このように強度や意匠性が要求される部分に、予め強度を測定あるいは推定した高強度の木材を適用することによって製品の競争力や新製品開発、販路開拓に繋がることを期待できる。

本研究では、亜熱帯性木材の性状評価技術を確認することによって用途に見合った付加価値の高い競争力の高い製品の供給や新たな販路開拓に寄与することを目的とした。

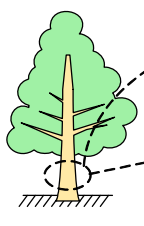
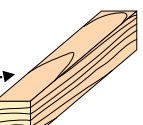

2 実験方法

2-1 立木の強度推定

2-1-1 試験の内容

木材には節が内在していることや、部位によって年輪幅や含水率が異なるなど均質ではないため、これらの影響を除去した状態で試験を実施するためには測定対象物の寸法は小さいことが望ましい。しかしながら曲げ試験では「測定対象物を破壊する」、「製材や乾燥に時間を要

表1 測定対象と試験内容などの比較

測定対象	 リュウキュウマツ立木	 試験片(大)	 試験片(小)
試験	立木ヤング率測定 (非破壊試験)	両端自由たわみ 振動波形測定 (非破壊試験※)	曲げ試験 (破壊試験)
時間	乾燥時間:無 加工時間:無 測定時間:短	乾燥時間:長 加工時間:中 測定時間:長	乾燥時間:長 加工時間:長 測定時間:中

※木材を伐採して試験片を作成するので広義では破壊試験に含まれると考えられるが、試験片自体は壊さないことから非破壊試験として分類した

する」など、現場で迅速に強度を推定したい場合には不向きな点がある。さらに、「簡易的に強度を把握する」ことを併せて考慮すると測定対象物は製品に近い形状や立木に対して非破壊で測定を実施することが必要となる。そこで木材の強度測定は、表1に示すように測定対象別に試験内容を区別して実施し、それぞれの試験で得られる木材性状の相関を検討した。また、測定地点毎の試験項目を表2に示す。なお、表中の詳細な試験内容は次節以降に記載する。

表2 試験項目

測定地域	測定ポイント	立木測定ヤング率	両端自由たわみ振動波形測定	曲げ試験
名護	1	複数回	○ ^{※1}	○
	2	複数回	○ ^{※1}	○
宜名真	3	1回	○ ^{※2}	○
	4	1回	○ ^{※2}	○
	5	1回	○ ^{※2}	○
	6	1回	—	—
奥	7	1回	—	—
	8	1回	—	—

※1 平成22年1月伐採
 ※2 平成22年11月伐採

2-1-2 立木の強度推定原理

木材性状（立木ヤング率）を立木の状態で「現場的」且つ「簡易的」に推定する機器を模索し、日本ビニロン株式会社製立木強度測定器ツリーチェッカーを導入した。当該機で得られる立木ヤング率はスギやヒノキの（立木）を対象に研究を重ね開発された²⁷⁾ものであるが、当該機の開発元である日本ビニロン株式会社との共同開発を担当した静岡県農林技術研究所 森林・林業研究センターの池田潔彦研究主幹らとの打ち合わせの結果、当該機の立木ヤング率の測定原理は、(1)式に示す「木材表層に取り付けた2つのセンサ間を応力が伝播する速度と密度の関係から算出する」というシンプルな原理⁷⁾なので、リュウキュウマツにも適用できるだろうとの助言を得た。また、2つのセンサ間の距離と、立木の繊維方向におけるセンサ間の応力伝播時間を実測するのに対して立木の密度は測定者が代表値を入力するため、算出される立木ヤング率は正確な値ではないことも併せてわかった。これについては、池田の研究結果⁷⁾より、複数の立木間の比較や地域ごとの傾向を把握するための機器として十分に適用可能と考えた。

測定は複数本の立木を定期的且つ継続的に実施した。測定前にセンサ間の距離（80cm）と立木の密度 ρ を入力し、その後測定を実施する。立木の密度 ρ は測定対象毎に異なるが、非破壊では求めることができないので一定値 $\rho=1.0\text{g/cm}^3$ とした。伝播速度 V はセンサ間距離と応力の伝播時間から算出される。

$$E = V^2 \times \rho / g \quad (1)$$

ここで、 E ：立木ヤング率 V ：伝播速度
 ρ ：密度 g ：重力加速度

2-1-3 測定対象樹木および測定地点

測定対象となる亜熱帯性樹木は、株式会社ざまみダンボール（代表者：座間味勲 氏）の協力を得て、同社が所有している山林中（沖縄県名護市2カ所および国頭村宜名真3カ所）に造林された樹齢約40数年のリュウキュウマツを選定して立木ヤング率の測定対象とした。また、県有林（国頭村宜名真1カ所、国頭村奥2カ所）のリュウキュウマツも併せて測定対象とした。これら全8カ所の測定地点の位置関係を図1に、また各地点の座標および測定した樹木数等を表3に示す。本報告中では測定地点毎に「ポイント1」から「ポイント8」として区別し、ポイント1および2を「名護地域」、ポイント3からポイント6を「宜名真地域」、ポイント7および8を「奥地域」として扱うものとする。

名護地域（ポイント1および2）と宜名真地域（ポイント6を除く）に造林されたリュウキュウマツは、株式会社ざまみダンボールが製品原料に供することを目的としてほぼ同時期に造林されたもので、名護地域は昭和57年から昭和60年にかけて除間伐および枝打ちされている。これらの地域の測定対象樹木の選定時には、造林されたリュウキュウマツの管理を担当している株式会社沖縄造林の比嘉俊次部長に同行していただき、葉や樹皮の状態を観察しながら松食い虫による被害木や大きく湾曲した樹木を測定対象に含めないように努めた。宜名真地域（ポイント6）および奥地域（ポイント7および8）における選定作業は沖縄県森林資源研究センターの担当職員の同行のもと、助言を得ながら実施した。

なお、図1中の沖縄本島および各測定地域の地図は、それぞれ「Craft MAP 日本・世界の白地図 (<http://www.craftmap.box-i.net/>)」および「Yahoo!地図 (<http://map.yahoo.co.jp/>)」に掲載されている画像をダウンロードし一部加工したものである。また、表3に示す各測定ポイントの座標は、GARMIN製ハンディGPS etrex VISTAを用いて測定したものであり、標高については

「北海道大学情報基盤センター北館ホームページ
(<http://www.hucc.hokudai.ac.jp>)」にて求めた。

2-1-4 測定方法

表 2 に示すように各ポイントにおいて選定したリュウキュウマツの胸高部の立木ヤング率を測定した。名護地域における測定は 2009 年(平成 21 年)11 月から開始し、2010 年(平成 22 年)9 月まで極力月 1 回の頻度で継続的に実施した。その他の地域のリュウキュウマツに関しては、1 回測定した。樹皮や表層付近が降雨等によって湿潤状態になると応力伝播時間の測定値に影響を及ぼすことが懸念されることから、天候による影響を避けることを目的に、測定は晴天時の午前 10 時から午後 3 時の間に行った。また、測定日の前日も晴天であることも併せて測定条件とした。

2-2 製材の両端自由たわみ振動波形測定

前節に示したツリーチェッカーによって得られる立木ヤング率と曲げ試験等の破壊試験から得られる曲げヤング率を比較し迅速試験法としての妥当性(正確性)を検討した。これらの試験に供する試験片は名護地域および宜名真地域から伐採したリュウキュウマツを製材したものである。

打撃用ハンマ(インパルスハンマ)、振動検出部(普通騒音計)、フィルタおよび解析部(マルチチャンネルデータステーション)などからなる両端自由たわみ振動波形測定システムを用いて共振周波数などを求めヤング率を算出する。共振周波数 f とヤング率 E および試験片の形状の関係を(2)式に示す。また、図 2 に測定システムを示す。

$$E = (2\pi)^2 L^4 f^2 \rho / (i^2 m^4) \quad (2)$$

ここで、 L : 試験片長さ

f : 共振周波数

ρ : 密度

I : 断面二次半径

m : モード字数で決まる定数

一次モードは $m=4.730$

2-2-1 測定対象樹木の伐採

曲げ試験等の強度試験(破壊試験)に供する樹木は、立木ヤング率を測定した樹木から 28 本を選択・伐採した。伐採地域と伐採数は表 3 に示した。伐採作業は 2010 年(平成 22 年)1 月および 11 月の晴天日に実施した。

測定対象樹木は地表から約 10cm の位置でチェーンソーを用いて伐倒し、ワイヤをかけて直ちに林道に引き出

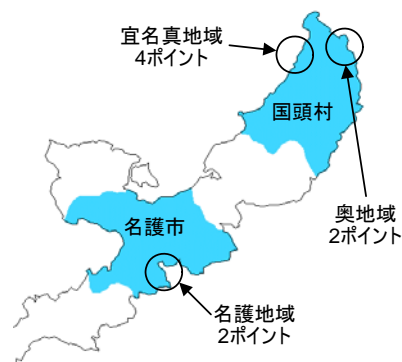


図 1 測定地域と測定ポイント

表 3 各測定ポイントの状況

測定地域	ポイント	緯度	経度	標高 (m)	測定数 (本)	伐採 (本)
名護	1	26° 33' 03.52"	128° 01' 16.76"	112	40	6
	2	26° 32' 51.85"	128° 01' 16.62"	100	34	7
宜名真	3	26° 49' 44.50"	128° 15' 19.92"	195	15	4
	4	26° 49' 42.78"	128° 15' 20.95"	196	15	3
	5	26° 49' 37.77"	128° 15' 32.95"	193	30	8
	6	26° 50' 36.22"	128° 15' 47.80"	200	29	—
奥	7	26° 49' 07.63"	128° 18' 07.66"	152	30	—
	8	26° 49' 08.79"	128° 17' 53.91"	205	30	—

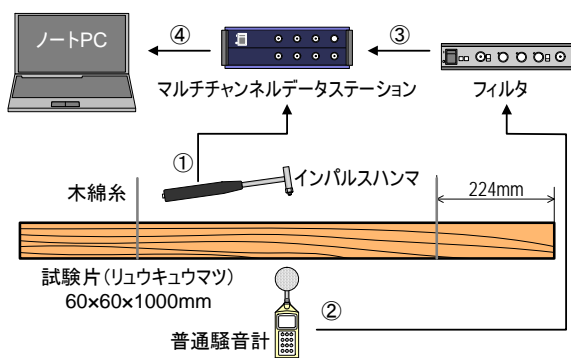


図2 両端自由たわみ振動波形計測システム

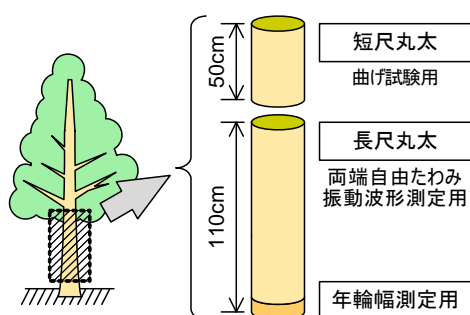


図3 丸太切り出し位置と丸太寸法

した。その後、図3中の斜線部で示す部位（胸高部およびその上部）から長さ110cmおよび50cmの丸太をそれぞれ切り出した。長さ110cmの丸太（以下、長尺丸太という）の根元に近い方の端部から厚さ3~5cmの円盤を切り出して年輪幅確認用試験片とした。残部は両端自由たわみ振動波形測定用試験片の作成に用いた。また、長さ50cmの丸太（以下、短尺丸太という）は曲げ試験片作成用とした。

2-2-2 試験片の一次加工

短尺丸太から曲げ試験片を、長尺丸太からは両端自由たわみ振動波形測定用試験片をそれぞれ採取する。リュウキュウマツに限らず傾斜地に造林された樹木は湾曲して生長することが多く、湾曲した樹体を保持するため樹

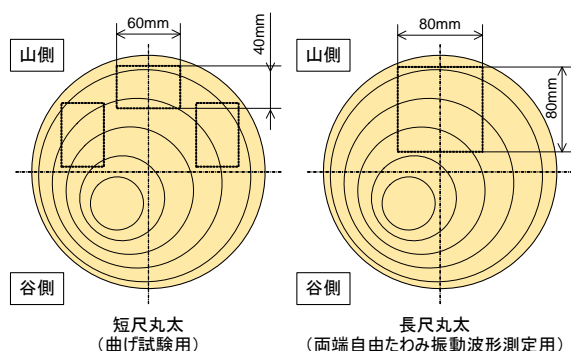


図4 試験片採取位置の例

木内部には応力が残留している^{8,9)}。針葉樹の場合には谷側に圧縮応力が残留することがわかっており^{8,9)}力学的特性に影響を及ぼすことが懸念されたため、試験片作成時にこの部分（あて材）を除去し、図4に示すように山側部分から採取するよう努めた。曲げ試験片は短尺丸太からできるだけ多くの試験片を作成し、両端自由たわみ振動波形測定用試験片についてはツリーチェッカーによる立木ヤング率の測定値との比較のため、可能な限り樹皮に近い部分から1本作成した。

2-2-3 曲げ試験片および両端自由たわみ振動波形測定用試験片の加工

各丸太から荒取りした一次加工材は、研究室内の乾燥庫内および乾燥機に放置し乾燥させた。乾燥工程では（株）ケツト科学研究所製木材水分系 HM-520 を用いて一次加工材の含水率を定期的に測定し、含水率の変動がなくなったことを確認後、曲げ試験片（20×20×320mm）および両端自由たわみ振動波形測定試験片（60×60×800mm）を作成した。

2-2-4 樹高の測定

名護地域および宜名真地域（ポイント6を除く）に造林されたリュウキュウマツの樹高は、BOSCH 製 DLE50 PROFESSIONAL を用いて測定した。測定方法は、測定者が測定対象となる立木から約2m離れた位置に立ち、当該機を胸の高さに保持しながらレーザーポイントを立木の先端付近を狙い照射し、当該機に表示される測定値に測定者の胸高(=1m)を加算するという簡易的な方法だが、（後日伐採した）伐採木の樹高の実測値との差は±1m以内であり、「簡易性」および「可搬性」の観点から有効と判断した。ポイント6および奥地域における樹高は検測桿を用いて測定した。

2-2-5 曲げ試験

表2に示した名護地域および宜名真地域（ポイント6を除く）から伐採した樹木（伐採数は表3参照）に対して短尺丸太から曲げ試験片をそれぞれ複数本作成し、「日

表4 試験条件

試験名	曲げ試験
試験片寸法	20 mm × 20 mm × 320 mm
試験方法	3点曲げ試験
負荷の箇所	柁目面
スパン	280 mm
試験速度	5 mm/min.

本工業規格 JIS Z 2101 木材の試験方法」に記載されている曲げ試験方法に準じて試験を実施した。また、曲げ試験後の試験片端部から約20mm 角の小試験片を切り出して各試験片の密度および含水率測定を行った。曲げ試験片寸法および試験速度等の試験条件を表4に示す。

3 実験結果および考察

3-1 立木の現状

立木ヤング率測定に供したリュウキュウマツの各地域における胸高直径の度数分布を図5-aから図5-cにそれぞれ示す。なお、胸高直径は立木の胸高部外周の実測値をもとに算出したものである。また、各図中の直線は胸高直径の平均値を示している。名護地域（ポイント1およびポイント2）の測定数は74本、宜名真地域（ポイント3からポイント6）は89本、奥地域（ポイント7およびポイント8）は60本である。各地域の測定結果は、名護地域では平均値=21.2cm、最大値=37.4cm、最小値=11.8cm、標準偏差=6.15であり、宜名真地域では平均値=26.0cm、最大値=45.2cm、最小値=13.0cm、標準偏差=7.17、奥地域では平均値=18.2cm、最大値=36.9cm、最小値=9.9cm、標準偏差=6.00であった。名護地域では胸高直径が15~20cmの範囲のリュウキュウマツが最も多く、宜名真地域では25~30cm、奥地域では15~20cmが多い。各地域のリュウキュウマツの樹齢は同程度だが、胸高直径は地域によって異なる傾向を示すことが確認できる。

各地域の樹高の度数分布を図6-aから図6-cにそれぞれ示す。各図中の直線は樹高の平均値を示している。それぞれの地域における測定結果は、名護地域では平均値=10.5m、最大値=15.5m、最小値=7.2m、標準偏差=1.77

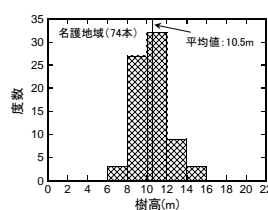


図6-a 名護地域

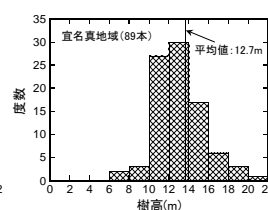


図6-b 宜名真地域

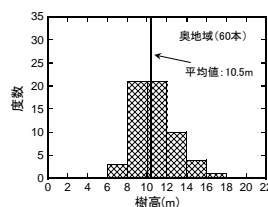


図6-c 奥地域

図6 地域毎の樹高の分布

であり、宜名真地域では平均値=12.7m、最大値=20.0m、最小値=6.5m、標準偏差=2.38、奥地域では平均値=10.5m、最大値=16.0、最小値=7.0m、標準偏差=2.00であった。名護地域のリュウキュウマツの樹高は10~12mの範囲のものが最も多く、宜名真地域では12~14mm、奥地域では8~12mが多いことがわかった。

図7-aから図7-cに胸高直径と樹高の関係を示す。胸高直径に対する樹高のばらつきは大きく、土壌および環境により立木の生育に差が生じていると考えられる。胸高直径と樹高の相関係数Rを求めた結果、名護地域については $R(\text{Nago})=0.23$ でやや相関があり、宜名真地域は $R(\text{Ginama})=0.12$ でほとんど相関がないことがわかった。また、奥地域は $R(\text{Oku})=0.61$ でかなり相関があることが

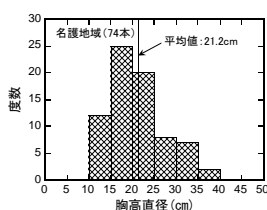


図5-a 名護地域

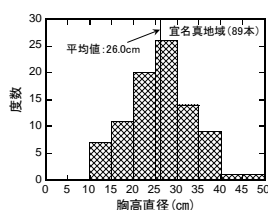


図5-b 宜名真地域

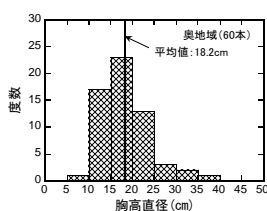


図5-c 奥地域

図5 地域毎の胸高直径の分布

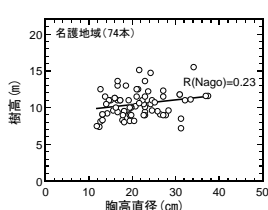


図7-a 名護地域

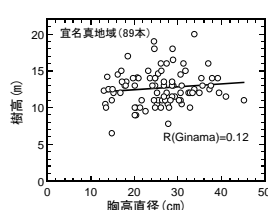


図7-b 宜名真地域

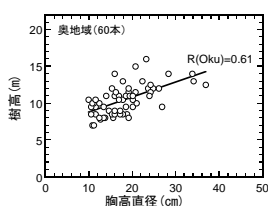


図7-c 奥地域

図7 地域毎の胸高直径と樹高の関係

わかった。なお、相関係数 R に関しては参考文献¹⁰⁾に基づき分類した。

3-2 ツリーチェッカーによる立木ヤング率の推定

表2に示すように名護地域（ポイント1およびポイント2）において立木ヤング率を継続的に測定した。その結果を図8に示す。ポイント1の測定対象樹木数は40本、ポイント2は34本で合計74本を測定した。測定は2009年（平成21年）11月から2010年（平成22年）9月の期間に可能な限り月1回の頻度で継続的に実施した。具体的には、2010年5月および8月の測定を実施していない。この時期は雨天が続いたためリュウキュウマツの表皮が常に湿潤状態にあり測定条件を満たさないと判断して測定を見合わせた。従って、図中にはそれぞれの樹木に対して2010年5月および8月を除いた各月の測定結果が表示されている。ツリーチェッカーのスタート側センサおよびストップ側センサをリュウキュウマツに打ち込む際には両センサを結ぶ線上に節や枝が位置しないように配慮し、上記の測定期間中に亘ってほぼ同一の部位を測定した。その結果、立木ヤング率は測定の時期によってばらつくことがわかった。

立木ヤング率の月変動を胸高直径別に比較した結果を図9に示す。胸高直径を5つの範囲（10～15cm、15～20cm、20～25cm、25～30cm、30cm以上）に分類し、それぞれの範囲の胸高直径の平均値に近い樹木（それぞれ樹木No.30、No.20、No.26、No.22、No.38）を選定して月変動を比較した。最も月変動が大きいのは胸高直径が20～25cmの樹木で、測定期間を通して34.4 tonf/cm²の変動があった。最も変動が小さいのは30cm以上の樹木で、8.4 tonf/cm²であった。また、図より立木ヤング率は胸高直径が小さい樹木が高い値を示す傾向があると予想された。そこで、胸高直径と立木ヤング率の関係について検討し

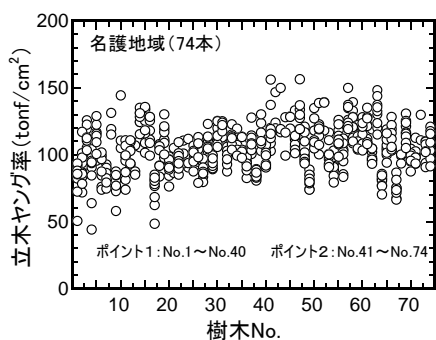


図8 名護地域における立木ヤング率測定結果
（測定期間：2009年11月から2010年9月）
（但し、2010年5月と8月を除く）

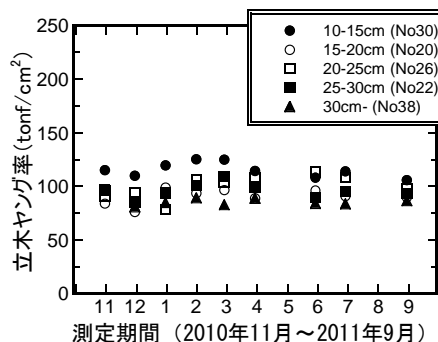


図9 立木ヤング率の月変動

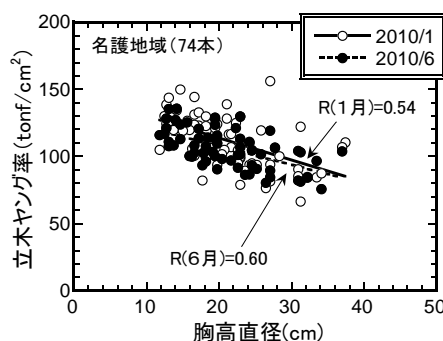


図10 胸高直径と立木ヤング率の関係
（名護地域）
（2010年1月および2010年6月）

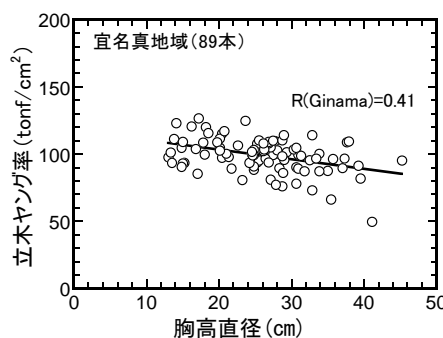


図11-a 宜名真地域

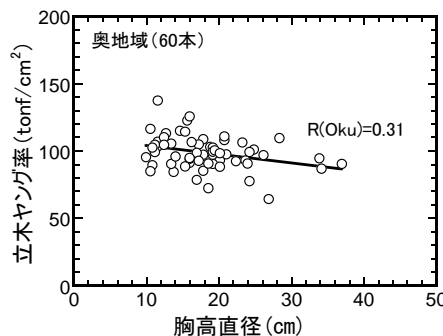


図11-b 奥地域

図11 胸高直径と立木ヤング率の関係

た。例として、2010年（平成22年）1月および2010年（平成22年）6月に測定した立木ヤング率の測定結果と胸高直径との関係を図10に示す。立木ヤング率と胸高直径の相関係数Rをそれぞれ求めた結果、1月については相関係数R(1月)=0.54、6月はR(6月)=0.60が得られた。また、図11-aおよび図11-bに示すように宜名真地域と奥地域についても同様に相関係数を算出したところ、それぞれR(Ginama)=0.41、R(Oku)=0.31が得られた。これらの値は名護地域と比較すると小さいが、立木ヤング率と胸高直径との相関がやや認められた。これらの結果から、樹木の生育や測定時期によっては相関があり、生育年数が同程度であれば胸高直径を測定することによって立木ヤング率を推定できる可能性があることが示唆された。

3-3 曲げ試験による強度測定

含水率は上記JIS規格の測定方法に準じて(3)式により求めた。このとき、同規格中に記載されている「換気の良い乾燥器」には市販の電子レンジを用い、同規格の「恒量」とは、電子レンジを用いて加熱した試験片の質量変化がなくなった時点までを以て恒量とした。

$$u = \frac{m1 - m2}{m2} \times 100 \quad (3)$$

ここで、u：含水率（%）

m1：乾燥前の質量（g）

m2：乾燥後の質量（g）

曲げ試験に供した各試験片の含水率を測定した結果、6.3%から11.5%の範囲であった。木材の含水率はその力学的性質に大きく影響することが知られているが¹¹⁾、各試験片の測定値は沖縄県の平衡含水率以下であり十分に乾燥していると考えられ、含水率の影響は低いと考えられる。曲げ荷重方向に対する年輪の傾きは曲げ強度に影響するといわれているが、リュウキュウマツは曲木や樹体内部に節が内在しているものが見られるなど曲げ試験片の全長（320mm）に渡って柁目面を確保できないものも多数みられた。従って試験片によっては負荷荷重方向に対して年輪が正確には垂直になっていないものも含まれる。このことに起因するばらつきが思慮されたがデータ構築を優先し、曲げ試験を実施した。

図12に宜名真地域から伐採した木材の曲げ試験における最大曲げ強さと曲げヤング率の関係を示す。最大曲げ強さが大きくなるに従い曲げヤング率も大きくなる傾向があり、両者の相関係数を求めるとR=0.90と強い相関

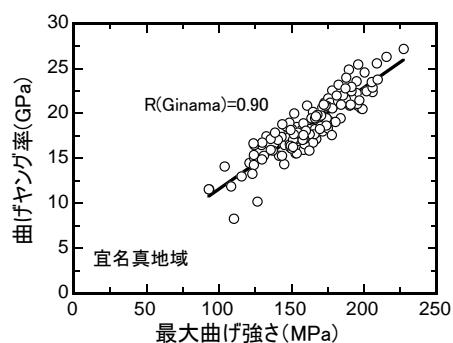


図12 最大曲げ強さと曲げヤング率の関係

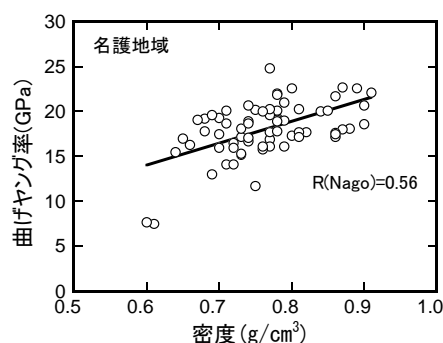


図13-a 名護地域

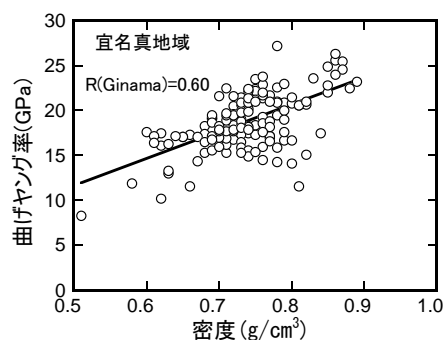


図13-b 宜名真地域

図13 密度と曲げヤング率の関係

があることがわかった。曲げヤング率は試験片の弾性範囲内における荷重と変位の関係から求める値であるため試験片を破壊することなく繰り返して試験することが可能である。これに対し、最大曲げ強さは曲げ試験時に試験片に負荷した最大荷重から求めた値で試験片を破壊することから、曲げ試験で得られる木材性状の考察には曲げヤング率を扱うことにした。

各試験片の密度と曲げヤング率の関係を地域別に図13-aおよび図13-bにそれぞれ示す。密度と曲げヤング率の相関係数Rを地域別に求めた結果、名護地域については相関係数R(Nago)=0.56、宜名真地域はR(Ginama)=0.60が得られるなど、両地域ともかなり相関

があることがわかった。即ち、密度が増加すると曲げヤング率が大きくなる傾向がある。

胸高直径と曲げヤング率の関係を地域別に図 14-a および図 14-b に示す。胸高直径と曲げヤング率の相関係数 R を求めた結果、名護地域については相関係数 $R(Nago)=0.70$ で強い相関が得られ、胸高直径が大きくなると曲げヤング率が低下する傾向がある。この傾向は図 10 にて示した胸高直径と立木ヤング率の関係と同様である。一方、宜名真地域については相関係数 $R(Ginama)=0.01$ となっており、双方には相関関係が認められない対照的な結果となった。

曲げ試験に供した試験片木口 20mm の範囲に含まれる年輪の数と曲げヤング率の関係を図 15 に示す。両者の相関は $R=0.39$ でやや相関が認められ、年輪の数が多い試験片の曲げヤング率が大きくなる傾向がある。木材性状に大きく影響するといわれる木材内部のマイクロフィブリル傾角の大小に関する議論をすることなく、マクロ的な観点から木材性状を検討する場合、(同程度の樹齢ということが大前提だが) 単位長さに含まれる年輪が少ない、即ち、直径が太い樹木は曲げヤング率が低い傾向があると考えられる。

ツリーチェッカーによって得られる立木ヤング率と曲げ試験によって得られる曲げヤング率の関係を図 16-

a および図 16-b に示す。名護地域および宜名真地域の相関係数はそれぞれ $R(Nago)=0.46$ および $R(Ginama)=0.36$ となった。この結果は参考文献より、「かなり相関がある」、「やや相関がある」に区分される。相関係数が予想に反して低い値となったのは、木材に内在する節などの影響によって木目が湾曲している部分が見られるなど、理想的な曲げ試験片を作成することが困難なことが要因の一つといえる。また、同一の短尺丸太から作成した試験片においても年輪数が異なることやツリーチェッカーに入力する密度 ρ には一定の値 ($\rho=1.0g/cm^3$) を入力していることなども低い相関係数を示す要因だと考えられる。今後、ツリーチェッカーを用いて立木のヤング率を推定

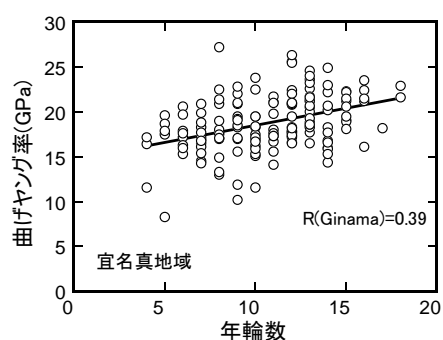


図 15 年輪数と曲げヤング率の関係

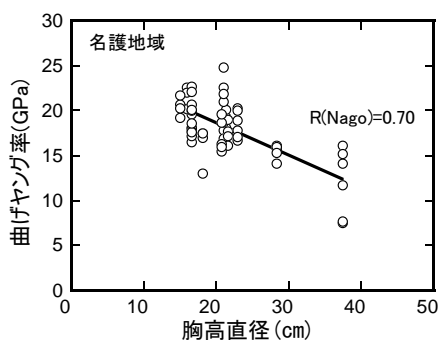


図 14-a 名護地域

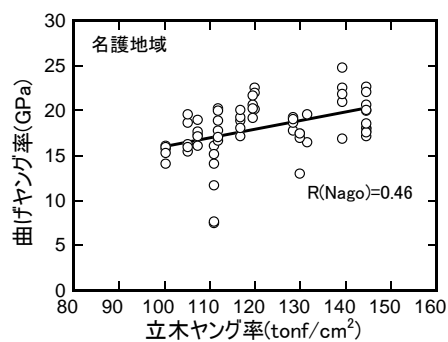


図 16-a 名護地域

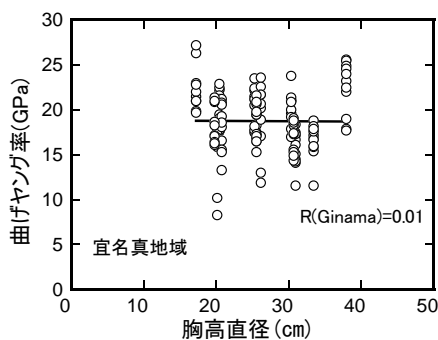


図 14-b 宜名真地域

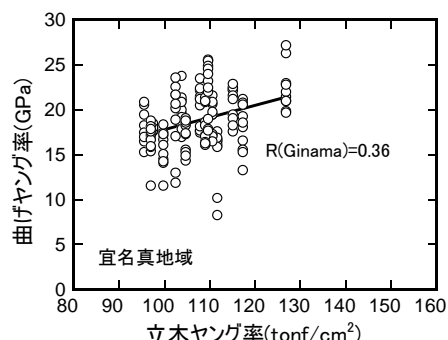


図 16-b 宜名真地域

図 14 胸高直径と曲げヤング率の関係

図 16 立木ヤング率と曲げヤング率の関係

や曲げ試験を重ねることによって、相関係数の向上に繋がり、伐採後の木材の曲げヤング率の推定が可能になると考える。

3-4 両端自由たわみ振動波形測定

表2に示すように、名護地域および宜名真地域（ポイント6を除く）から伐採した樹木に対して両端自由たわみ振動波形測定を実施した。長尺丸太から荒取りした一次加工材の乾燥庫内における乾燥工程では（株）ケツト科学研究所製木材水分系 HM-520 を用いて含水率を定期的に測定した。一次加工材は比較的長尺であるため乾燥庫内に放置しているにもかかわらず木材内部の水分が抜けにくく、木材内部の含水率が平衡含水率程度に安定するまでに長時間を要することが経験的にわかった。また、十分な乾燥を待たずに測定すると測定データへ影響を及ぼすことが懸念された。そこで乾燥時間の短縮を狙い、一次加工材は表層の切削と乾燥機による乾燥の工程を複数回繰り返し行って段階的に所望の寸法に仕上げた。

名護地域における密度と本測定によって得られたヤング率の関係を図17-aに、宜名真地域の結果を図17-bに示す。両地域とも密度が大きくなるとヤング率が大きくなる傾向があり、それぞれの相関係数は $R(Nago)=0.67$ および $R(Ginama)=0.56$ となっており、かなり相関があることがわかる。ヤング率のばらつき要因として、外部からは確認できないような試験片内部に内在する節による影響が考えられる。両端自由たわみ振動波形測定から得られたヤング率と曲げヤング率の関係を地域別に図18-aおよび図18-bに示す。相関係数は $R(Nago)=0.13$ および $R(Ginama)=0.07$ とほとんど相関がない結果となった。

まとめ

沖縄県内に繁茂する亜熱帯性木材の利用促進に資するため、沖縄県北部3地域のリュウキュウマツの立木を測定対象として木材の迅速評価法に関する研究を実施した。その結果、下記に示すことがわかった。

①立木の現状

各地域のリュウキュウマツの樹齢はいずれも40年程度であるが、それらの立木直径を測定した結果、名護地域では胸高直径が15cm~20cm、宜名真地域では25cm~30cm、奥地域では15cm~20cmが多く、胸高直径は地域によって異なる傾向を示すことが確認できた。また、立木の胸高直径と樹高の相関は地域ごとに異なり、名護地域は $R=0.23$ 、宜名真地域は

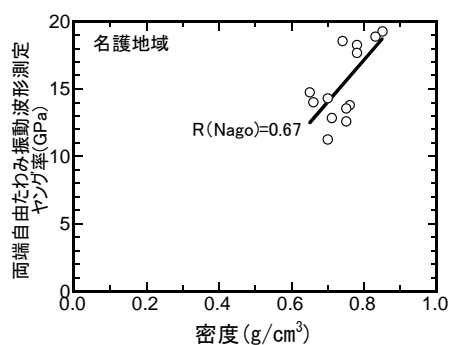


図17-a 名護地域

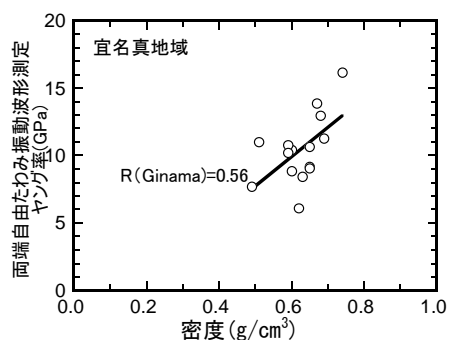


図17-b 宜名真地域

図17 密度と両端自由たわみ振動波形測定によるヤング率の関係

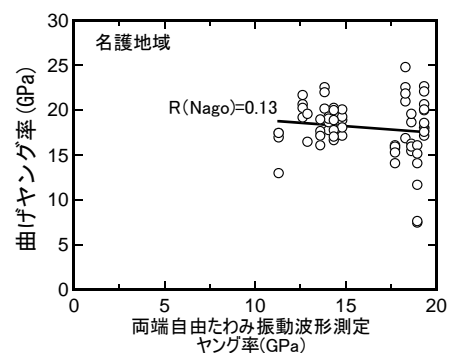


図18-a 名護地域

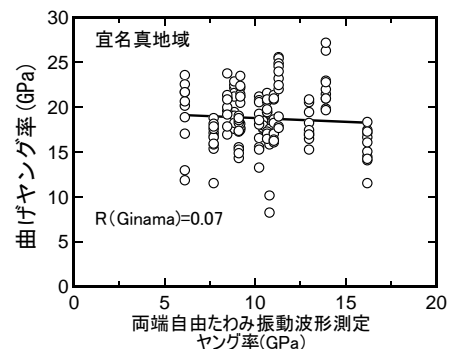


図18-b 宜名真地域

図18 両端自由たわみ振動波形測定によるヤング率と曲げヤング率の関係

R=0.12、奥地域はR=0.61であった。

②立木ヤング率

名護地域の立木ヤング率を継続的に測定した結果、立木ヤング率は測定の時期によってばらつくことがわかった。また、立木ヤング率と胸高直径との相関がやや認められたことなどから、胸高直径を測定することによって立木ヤング率を推定できる可能性があることが示唆された。

③曲げ試験による強度測定

試験片木口に含まれる年輪の数と曲げヤング率の関係について、マクロ的な観点から木材性状を検討すると、樹齢が同程度ならば単位長さに含まれる年輪が少ない、つまり直径が太い樹木は曲げヤング率が低い傾向がみられた。立木ヤング率と曲げヤング率の間には「かなり相関がある」あるいは「やや相関がある」といえる。ツリーチェッカーを用いた立木ヤング率の推定および曲げ試験を重ねることによって、相関係数の向上に繋がることが予想される。

④両端自由たわみ振動波形測定

伐採した樹木に対する両端自由たわみ振動波形測定の結果、密度が大きくなるとヤング率が大きくなる傾向があることがわかった。

相関係数の向上や木材性状評価法の更なる迅速化、高精度化およびを目指すためには、今回実施した各測定のデータ数を増やすことが必要不可欠と考える。

本研究は「沖縄産材の建材化に関する研究（2010技006）」の一環として行ったものである。

謝辞

本研究を実施するにあたり、株式会社ざまみダンボール および 株式会社沖縄造林の関係各位より多大なご協力とご助言をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 池田 潔彦、2006、5. 品質管理におけるオンライン計測機器、木材工業、Vol.61、No.11、p.502
- 2) 池田 潔彦、2006、立木のヤング率をはかる－樹木を叩いて強度を評価する－、森林科学、No.46、p.57
- 3) 鹿児島県工業技術センター木材工業部、2001、丸太をたたいて強度の推定、鹿工技ニュース、No.52、p.5
- 4) 財団法人南西地域産業活性化センター、2007、平成18年度沖縄産学官共同研究推進事業「乾燥圧密技術

の開発による沖縄産材の高品質化に関する研究」成果報告書

- 5) 財団法人南西地域産業活性化センター、2008、平成19年度地域資源活用型研究開発事業「沖縄産材を用いた高機能性木材に関する研究開発」成果報告書
- 6) 財団法人南西地域産業活性化センター、2009、平成20年度地域資源活用型研究開発事業「沖縄産材を用いた高機能性木材に関する研究開発」成果報告書
- 7) 池田 潔彦、2002、応力波伝播速度による立木材質の評価と適用に関する研究、静岡県林業技術センター研究報告、第29号、p.1-63
- 8) 有馬 孝禮、高橋 徹、増田 稔、2001、木材科学講座 9 木質構造、海青社、p.25
- 9) 日本木材学会、1995、すばらしい木の世界、海青社
- 10) 石村 貞夫、1995、すぐわかる統計解析、東京図書、p.35
- 11) 高橋 徹、中山 義雄、2008、木材科学講座 3 物理 第2版、海青社、p.22、p.121-124

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。