

早生樹の材質特性に関する研究

2020 年度～2022 年度

岩川昌暉・上田耕大*

要 旨

早生樹であるセンダン (*Melia azedarach*) について有効利用を図るために、分布調査、材質調査を行い、強度特性、利用法について検討を行った。立木段階で材質調査を行ったセンダン 57 本のうち、14 本を伐採し、供試木に用いた。円盤調査の結果、センダンの収縮率は柁目方向で 0.17%、板目方向で 0.24%、気乾比重は 0.57 であった。JIS による強度試験では、曲げ強さの平均は 77N/mm²、曲げヤング率の平均は 6844N/mm²、縦圧縮強さの平均は 35N/mm² であった。応力波伝播速度と曲げ強さ、曲げヤング率にはそれぞれ正の相関があったことから、立木段階で曲げ強さ及び曲げヤング率を求められる可能性があることが示唆された。また、同じ地域に生育しているセンダンを対象に強度試験の結果を比較したところ、全ての系統で有意差が見られた。この結果からセンダンは系統間で差があり、優良系統の選抜が必要であると考える。利用法についての検討を県内の家具メーカーと行ったところ、テーブルの天板等に利用可能であることが分かり、木目を生かしたダイニングテーブルとダイニングチェアを製作した。

I はじめに

日本の森林面積は国土面積の約 3 分の 2 を占めており、そのうちの約 4 割が人工林である。人工林の多くは終戦直後や高度経済成長期に造林されたものが多く、その半数が 50 年生を超え、本格的な利用期を迎えている (林野庁 2022)。このため、利用期を迎えた森林の主伐、再造林が増えることが予想される。しかし、再造林時に苗木の植栽や下刈り等の費用がかかることやその費用を回収するまでに時間がかかることが森林所有者の負担となっており、再造林への関心を向きにくくしている。そこで、従来の造林樹種であるスギ、ヒノキ等と比べて成長が早く、20～30 年程度で収穫できる早生樹が注目されている。その中でも木目がケヤキに似ていることから代替材として利用が見込まれるセンダンについて、県内で

も関心が高まっている。

センダン (*Melia azedarach*) はセンダン科センダン属の落葉高木で伊豆半島以西の本州、四国、九州の暖帯に分布し、学校の校庭に植栽されることや河川敷に自生していることが多い。しかしながら、センダンの材質特性に関しては未解明な部分がある。

そのため、本研究では県内各地に生育するセンダンを対象に材質特性を明らかにするとともに利用法の検討を行うことを目的とした。

II 方法

1. 立木段階での材質調査

県内のセンダン 57 本を対象に樹高、胸高直径、応力波伝播速度を測定した (図-1)。なお、河川敷等に自生するセンダンを自生木、学校等に植栽されて

いるセンダンを植栽木としてカウントした。応力波伝播速度の測定には、応力波伝播時間測定器（FAKOPP、FAKOPP Enterprise）を使用し、樹幹表面で成長方向にセンサーを配置して繊維方向の応力波伝播速度を測定した（図-2）。

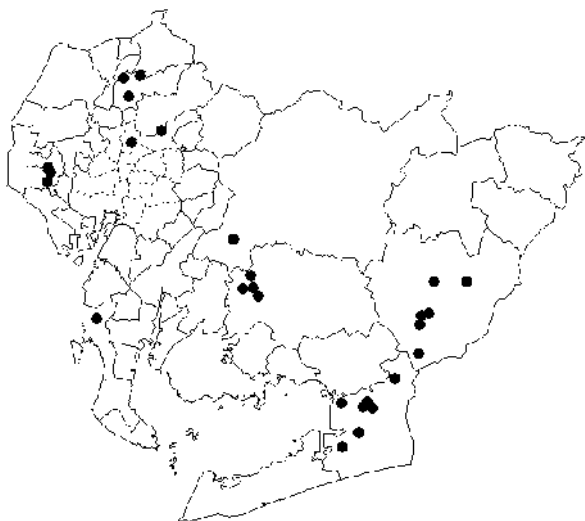


図-1 立木段階での材質調査木の位置（57本）

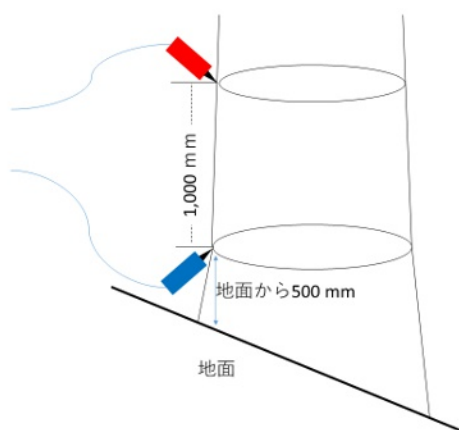


図-2 立木の応力波伝播速度の測定方法

2. JIS 試験による材質調査

1. で調査を行った 57 本のうち、14 本を供試木とした（図-3）。供試木は目視により根元から上部に向かって通直な部分までを幹とし、地際より伐採して当センターに持ち帰った。持ち帰った供試木のうち、7 本の供試木（庄内 1、庄内 2、庄内 3、上里、八帖、北野、小牧）については、1 番玉の元口から約

50mm の厚さの円盤を採取した後、髓から外周 4 方向へ続けて 1 辺 30mm の立方体試験片を作製し、質量、寸法を測定した。試験片は風乾した後、気乾状態及び全乾状態での質量、寸法を測定し、気乾比重、含水率、寸法収縮率を求めた。



図-3 JIS 試験を行った材質調査供試木の位置（14本）

14 本の供試木について、髓を中心に厚さ 50mm に製材し、3～9 か月間天然乾燥を行った。天然乾燥後、蒸気式木材乾燥装置（SKD-15LPT、新柴設備）により、中温域での人工乾燥を行い、試験体の作製を行った。試験体は元口から成長方向に 500mm ごとに切断した後、1 辺 20mm の正方形断面になるように調製し、20×20×500mm の試験体を作製した。作製した試験片は温度 20±2℃、湿度 65±3%の雰囲気下で十分な調湿を行った。

次に木材万能試験機（AG-10TE、島津製作所）を用いて曲げ試験を行った。曲げ試験は、JIS Z 2101 に基づき、支点間距離 280mm、中央集中荷重方式で実施した。曲げ試験終了後、試験体の元口及び末口から長さ 40mm の試験体を採取し、JIS Z 2101 に基づき、縦圧縮試験を行った。

3. 利用法の検討

センダンは、木目がケヤキに似ていること等からケヤキの代替材として家具に使われることが見込ま

れるため、木目を生かした利用法を検討することとした。2. の強度試験の結果を基に、県内の家具メーカーとセンダンの利用法について検討を行い、試作品の製作を行った。

III 結果と考察

1. 立木段階での材質調査

県内のセンダン 57 本を対象に樹高、胸高直径、応力波伝播速度を測定したところ、樹高は 3.5~16.0m、胸高直径は 19~80cm、応力波伝播速度は 1885~3392m/s であった (表-1)。また、自生木は 30 本、植栽木は 27 本であった。

表-1 立木段階での材質調査結果

	n	樹高 (m)		胸高直径 (cm)		応力波伝播速度 (m/s)	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
自生木	30	10	2	38	11	2806	271
植栽木	27	9	4	52	17	2539	410

2. JIS 試験による材質調査

供試木 14 本の気乾比重、含水率、柁目方向の収縮率、板目方向の収縮率の平均を表-2 に示す。家具材として用いられ、平均収縮率が近いケヤキ、トチノキと気乾比重を比較するとトチノキより大きく、ケヤキより小さいことが分かった。

供試木 14 本の樹齢、胸高直径、樹高、応力波伝播速度、気乾比重、曲げ強さ、曲げヤング率、縦圧縮強さを表-3、表-4 に示す。曲げ強さ、曲げヤング率、縦圧縮強さの平均はそれぞれ $77\pm 20\text{N/mm}^2$ 、 $6844\pm 1222\text{N/mm}^2$ 、 $35\pm 6\text{N/mm}^2$ であった。ケヤキ、トチノキと比較するとケヤキより低いが、曲げ強さはトチノキより高く、曲げヤング率と縦圧縮強さでもトチノキを超える個体が存在した。また、先行研究で示されたセンダンの曲げヤング率と比べて低い値であった (横尾ら 2021)。今後、芽かき等の育林施業を行い、通直材に仕立てることで強度が高い個体が増える可能性があるかと推察される。

表-2 JIS 試験による材質調査結果 (円盤調査)

	n	気乾比重	含水率 (%)	収縮率 (%)	
				柁目方向	板目方向
供試木	319	0.57	12.0	0.17	0.24
ケヤキ		0.62		0.16	0.27
トチノキ		0.53		0.16	0.27

(ケヤキ、トチノキの数値は林業技術ハンドブック 全国林業改良普及協会より引用)

表-3 各個体の材質調査結果 (立木・円盤段階)

区分	系統	樹齢	胸高直径	樹高	応力波伝播速度	気乾比重
		(年生)	(cm)	(m)	(m/s)	
自生木	庄内1	17	48	8	2773	0.58
	庄内2	17	50	8	2319	0.63
	庄内3	22	52	10	2596	0.57
	上里	22	31	10	2920	0.54
	八帖	23	41	9	2919	0.57
	北野	19	34	10	3083	0.56
	牛川1	9	20	9	3076	0.53
	牛川2	29	53	14	2856	0.49
	大村1	15	29	10	3145	0.55
	大村2	15	NA	NA	NA	0.53
植栽木	小牧	70	54	10	2494	0.61
	常滑1	NA	75	16	3168	0.64
	常滑2	NA	39.5	16	2508	0.60
	新城	NA	53	9	2366	0.54
全体平均		23	45	11	2786	0.57

表-4 各個体の材質調査結果 (強度試験)

区分	系統	n	曲げ強さ		曲げヤング率		縦圧縮強さ	
			(N/mm ²)		(N/mm ²)		(N/mm ²)	
			平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
自生木	庄内1	79	65	8	5619	518	37	4
	庄内2	48	73	12	6161	525	38	4
	庄内3	42	71	14	7282	1102	40	5
	上里	47	77	11	7181	451	32	7
	八帖	68	72	12	6502	455	33	5
	北野	71	100	19	8181	1057	33	6
	牛川1	99	83	15	6676	945	32	4
	牛川2	52	82	5	7212	386	33	3
	大村1	24	80	13	7259	673	38	3
	大村2	21	75	10	6644	1004	35	4
平均			78	20	6807	1275	35	5
植栽木	小牧	59	71	16	6550	873	32	3
	常滑1	24	89	11	8122	628	44	5
	常滑2	25	75	16	7623	889	42	5
	新城	32	57	16	6096	933	35	7
平均			71	21	6859	1223	37	7
全体平均			77	20	6844	1222	35	6
参考	ケヤキ		99		11760		47	
	トチノキ		74		7840		39	

(ケヤキ、トチノキの数値は林業技術ハンドブック 全国林業改良普及協会より引用)

供試木のうち、北野は曲げ強さと曲げヤング率が最も高く、常滑 1 は縦圧縮強さが最も高い結果となった（表-4）。北野と常滑 1 はともに応力伝播速度が高いことから、供試木の応力波伝播速度と強度（曲げ強さ、曲げヤング率、縦圧縮強さ）について相関を求めたところ、相関はそれぞれ 0.71、0.52、-0.09 となった（図-4）。この結果から曲げ強さ、曲げヤング率と応力波伝播速度に相関が見られるため、応力波伝播速度を測定することで曲げ強さと曲げヤング率を推定できる可能性があることが示唆された。

次に表-4 から自生木と植栽木の強度試験の結果を比較すると、曲げ強さでは自生木の平均が 78N/mm²、植栽木の平均が 71N/mm² で自生木が有意に高く、縦圧縮強さでは自生木が 35N/mm²、植栽木が 37N/mm² で植栽木が有意に高いことが分かった（ともに p<0.01）。今回の調査で自生木の通直高さは平均 2.1m であったが、植栽木の通直高さは平均 1.4m であった。この通直高さの違いが強度に影響していると考え、地上高 1.5m までの強度試験の結果を自生木と植栽木で比較したところ（表-5）、曲げヤング率と縦圧縮強さについて植栽木が有意に高いことが分かった(p<0.05)。

次に供試木の気乾比重を比較すると常滑 1 が 0.64 と最も高く、牛川 2 が 0.49 と最も低かった（表-3）。髄からの距離と気乾比重の関係について図-5 に示す。どの個体でも髄からの距離が遠いほど気乾比重

が高くなる傾向があった。先行研究（横尾ら 2021）でも髄から樹皮に向かって気乾比重が高くなる傾向があり、今回の結果はこれを支持した。一般的に気乾比重が高いほど強度も高くなることが知られているため、センダンについても同じような傾向があるのかを調べた。曲げ強さ及び曲げヤング率で最も高い値を示した北野を対象に髄からの距離と曲げ強さ、曲げヤング率、縦圧縮強さとの関係を図-6 に示す。それぞれの相関を求めると 0.36、0.49、0.26 であり、曲げ強さ、曲げヤング率、縦圧縮強さは髄から離れるほど高くなる傾向があることが分かった。先行研究（横尾ら 2021）でも髄から樹皮に向かって曲げ強さと曲げヤング率が高くなる傾向があり、今回の結果はこれを支持した。

次に自生木について樹齢と地上高 1.5m までの強

表-5 地上高 1.5m までの強度試験結果

区分	系統	n	曲げ強さ (N/mm ²)		曲げヤング率 (N/mm ²)		n	縦圧縮強さ (N/mm ²)	
			平均値	標準偏差	平均値	標準偏差		平均値	標準偏差
			自生木	庄内1	60	65		8	5691
	庄内2	48	73	12	6161	525	48	38	4
	庄内3	42	71	14	7282	1102	29	40	6
	上里	36	81	25	7405	1261	36	33	7
	八帖	38	79	13	6524	796	36	34	3
	北野	42	111	9	8568	642	42	35	5
	牛川1	53	89	11	7027	687	53	32	4
	牛川2	27	82	17	7180	658	27	33	3
	大村1	24	80	13	7220	685	24	38	3
	大村2	21	75	10	6644	1004	21	35	4
	平均		80	19	6896	1135		36	5
植栽木	小牧	40	80	19	6947	657	40	32	3
	常滑1	24	89	11	8122	628	24	44	5
	常滑2	25	75	16	7623	889	25	35	5
	新城	32	57	16	6096	933	32	42	7
	平均		74	20	7095	1073		38	7

(曲げ強さ、曲げヤング率の n は同数)

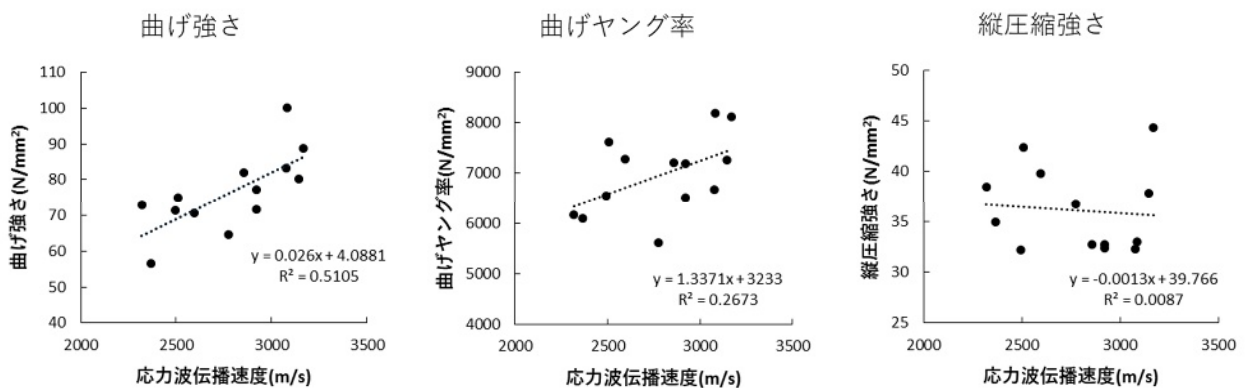


図-4 応力波伝播速度と強度の関係

度の関係を図-7に示す。樹齢と曲げ強さ、曲げヤング率、縦圧縮強さの相関を求めたところ、相関は-0.07、0.17、-0.05となった。この結果からは樹齢と強度に相関は見られなかったが、近似曲線の傾きがほぼ横ばいであることから9年生のセンダンでも20~30年生のセンダンと強度の差がないことが示唆された。

次に庄内1、庄内2、庄内3の曲げ強さ、曲げヤング率、縦圧縮強さを図-8に示す。庄内1、庄内2、庄内3は同じ河川敷から伐採されたセンダンであり、似た環境で生育していたと考えられることから、環境要因に大きな差はないと判断した。曲げ強さでは庄内1と庄内2、庄内1と庄内3で有意差があり(そ

れぞれ $p < 0.01$ 、 $p < 0.05$)、曲げヤング率では全てで有意差があり(すべて $p < 0.01$)、縦圧縮強さでは庄内1と庄内3で有意差があった($p < 0.01$)。これらの結果から、似ている環境で生育していても系統の違いによって強度に差が出るため、優良系統の選抜が必要であると考えられる。

3. 利用法の検討

材質調査の結果を基に、県内の家具メーカーとセンダンの利用法の検討を行った。

家具メーカーのセンダン材に対する評価は、材の色や木目について想像以上に良好であり、テーブル

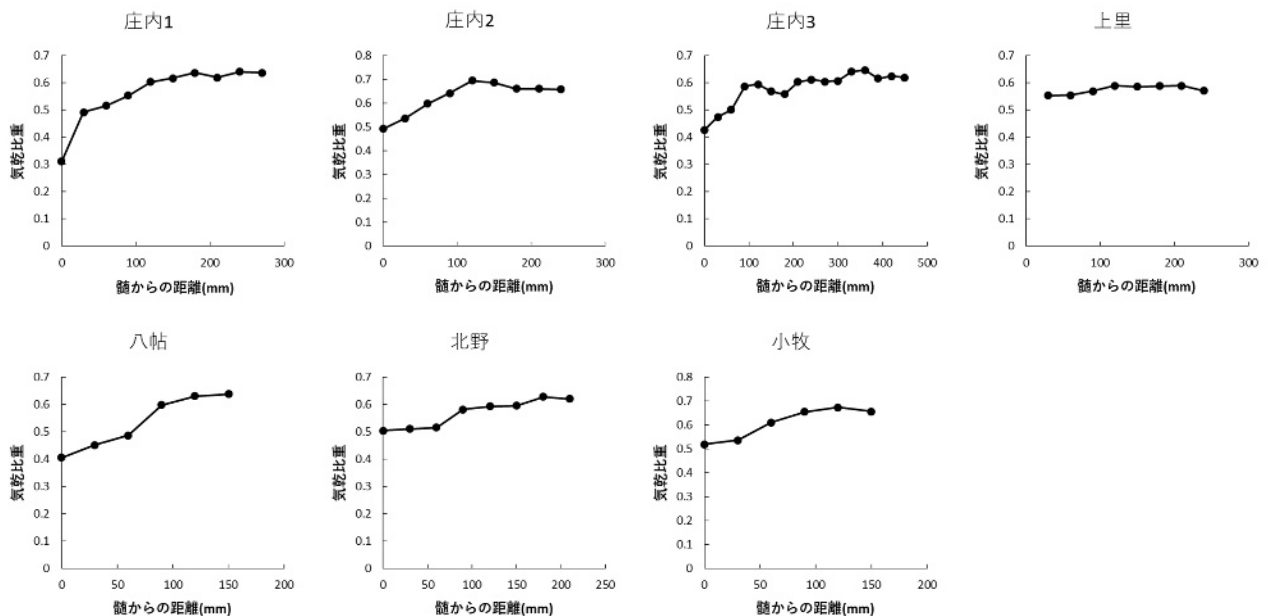


図-5 髓からの距離と気乾比重の関係

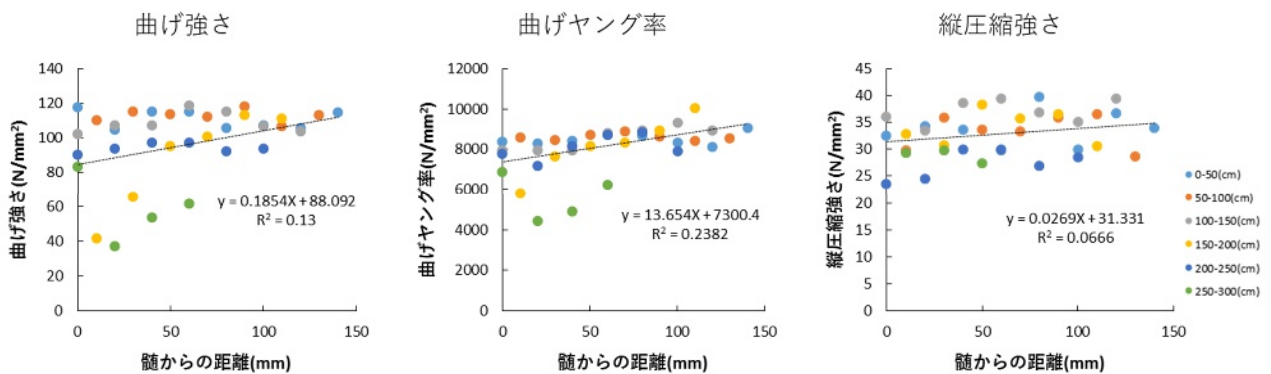


図-6 髓からの距離と強度の関係 (北野)

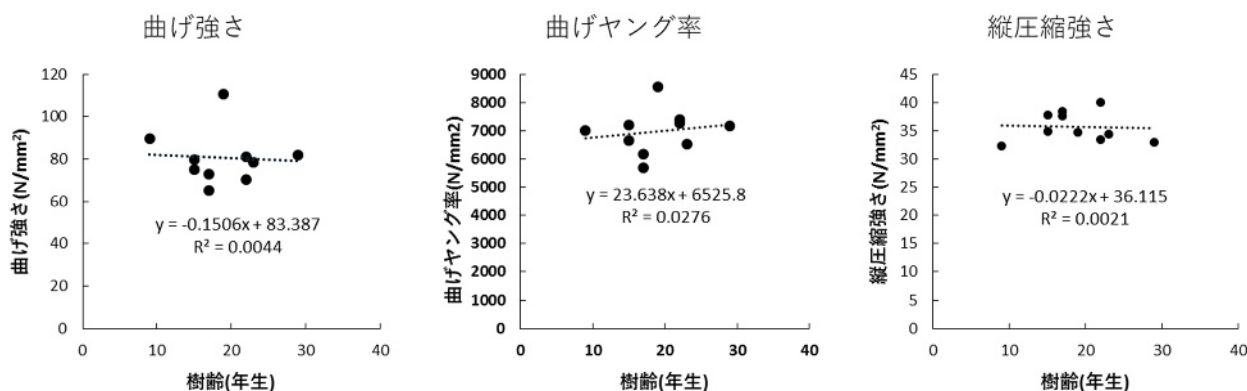


図-7 樹齢と強度の関係

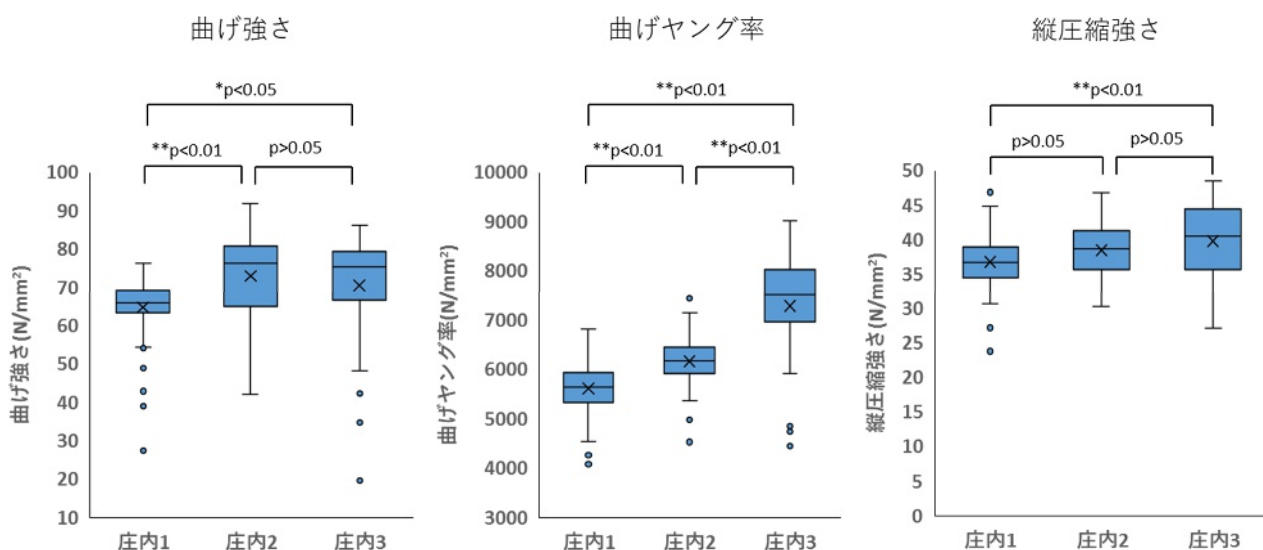


図-8 系統と強度の関係

の天板として十分利用できる」と高い評価であった。強度については、広葉樹の中で中程度であり、強度が求められる椅子の脚部等に使用の際は工夫が必要であるとの意見もあった。そこで、これらの意見を参考として、センダンの特徴を生かして国産針葉樹では代替できないデザイン性の高い家具として、ダイニングテーブル及びダイニングチェアを製作することとした。デザインについては、近年、消費者のニーズがシンプルなデザインを好む傾向にあることから細めの形状とした。テーブルの天板及び椅子の座面、背面についてはセンダンのみで製作することとした。脚部については、太い形状であればセンダンのみでも製作可能であるが、今回はデザイン性を



図-9 製作したダイニングテーブルとダイニングチェア

重視して細い形状としたため、強度の高いブナとセンダンを併用することとした。以上の検討結果を踏

まえ、ダイニングテーブル及びダイニングチェアを製作した（図-9）。

以上のことをまとめると、本県のセンダンの強度はトチノキより高く、ケヤキより低い。しかし、今後、芽かき等の育林施業を行い、通直材に仕立てることで強度が高い個体が増える可能性があることが推察された。また、似ている環境で生育していても系統の違いによって強度に差が出るため、優良系統の選抜が必要であると考えられた。さらにセンダンの利用法を検討した結果、材の色や木目について高い評価を得たことから、センダンの特徴を生かして国産針葉樹では代替できないデザイン性の高いダイニングテーブル及びダイニングチェアを製作し、PRに活用した。

引用文献

林弥栄 (1969) 有用樹木図説 (林木編). 誠文堂新光社

小林寛生・豊嶋勲・上田耕大 (2020) 立木段階での材質・性能予測に関する研究. 愛知林セ報 57 : 13-20

松村順司・井上 真由美・横尾 謙一郎・小田 一幸 (2006) 高炭素固定能を有する国産早生樹の育成と利用 (第1報) センダン (*Melia azedarach*) の可能性. 木材学会誌 52 : 77-82

日本規格協会 (2009) JIS Z 2101 木材の試験方法. 日本規格協会

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

URL <https://www.R-project.org/>.

林業科学技術振興所(1969) 有用広葉樹の知識-育てかたと使いかた-. 林業科学技術振興所

林野庁 (2022) 森林・林業白書. 全国林業改良普及協会

横尾謙一郎・古閑美子・阪上宏樹・松村順司 (2021)

芽かきしたセンダンにおける木材性質の樹幹内変動. 木材学会誌 67 : 197-207

全国林業改良普及協会 (1998) 林業技術ハンドブック. 全国林業改良普及協会