

速報

センダン若齢林の地上部バイオマス—熊本市の事例—*1

鳥山淳平*2・酒井佳美*2・横尾謙一郎*3・森 大喜*2・大貫靖浩*4

鳥山淳平・酒井佳美・横尾謙一郎・森 大喜・大貫靖浩：センダン若齢林の地上部バイオマス—熊本市の事例— 九州森林研究 75：145—148, 2022 将来的な広葉樹材の供給を目的とするセンダン (*Melia azedarach*) の植栽地面積が徐々に増えている。植栽されたセンダンのバイオマスを現場で見積もるためには、樹木の胸高直径や樹高からバイオマスを推定するアロメトリ式が必要であるが、センダンの伐倒試験によるアロメトリ式の報告は少ない。本研究では熊本市内に生育するセンダンの若齢林 (3年生) のアロメトリ式を新たに構築し、微地形単位別の地上部バイオマスを明らかにした。その結果、胸高直径にもとづくアロメトリ式は樹高や枝下高による式と比べ、センダン若齢木の樹形のばらつきに起因する誤差の影響が小さかった。センダン若齢林の地上バイオマスは平均で 3.0 t ha^{-1} で頂部斜面で他の微地形単位より低く、これには1年目から続く成長の低さと3年目までの生残率の低さが関与していた。

キーワード：国産早生樹、センダン、地上部バイオマス、アロメトリ式

I. はじめに

近年熊本県では、将来的な広葉樹材の供給を目的とする、センダン (*Melia azedarach*) の植栽地が徐々に増えている。植栽されたセンダンのバイオマスを現場で見積もるためには、樹木の胸高直径や樹高からバイオマスを推定するアロメトリ式 (相対成長式) が必要である。特に芽かき施業を行った通直なセンダンは、一般的な広葉樹と樹形が異なるため、これに対応したアロメトリ式を新たに作る事が望ましい。

センダンのアロメトリ式を作るためには、植栽木の伐倒試験による重量データの蓄積が求められるが、現在のところ報告は少ない。一方、森林総合研究所の研究グループは、2018年から熊本市内の丘陵地においてセンダンの生育試験を行っている。これまで1年生林分の樹高成長を微地形単位別に評価し、頂部斜面で低く谷頭凹地で高い傾向を明らかにした (鳥山ほか, 2020)。今回、同試験地において3年生林分の間伐を行う機会を得た。このため、本研究ではセンダン若齢木のアロメトリ式を新たに構築し、3年生林分の地上部器官のバイオマスを微地形単位別に明らかにする。本報告の重量データは特定の林分、林齢のものであり、センダンの植栽木を広くカバーするアロメトリ式を作るには甚だ不十分であるが、将来的に他の植栽地のデータとともに活用されることを想定し、公開する。

II. 材料と方法

植栽地は森林総合研究所九州支所の構内に位置する、立田山試験地 (熊本県熊本市) の10林班に1小班である。2018年3月にセンダン (系統: N型) を108本植栽した。植栽時の平均苗高は126 cmで、植栽間隔は3 mである。2018年9月に補植 (7本) を一度行った。下刈りを2018年から2020年まで年2回行った。

また芽かきを2018年と2019年に2回ずつ行った。2020年から谷頭凹地と上部谷壁斜面において樹冠の重なりが観察されたため、翌年春の間伐を計画した。

間伐に先立ち、現地調査を2021年3月 (落葉期) に行った。樹高と枝下高を測棒で、胸高周囲長 (高さ1.3 m) をスチールメジャーでそれぞれ計測した。本報告における樹高と枝下高のとりえ方について、図-1にまとめた。現地調査ではセンダンの枝数 (幹上および側枝) も記録し、枝重量との関係について予備的な解析を行ったが、本報告では詳細を記載せずデータのみ示す。

間伐を2021年4月6日に行った。植栽木の格子状の配置にもとづき、残存木と伐採木を交互に並べ、全体の約半分にあたる50個体を伐採した。さらに、そのうち1/3の16個体について無作為に抽出し、地上部重量の計測対象とした (図-2)。微地形単位別 (田村, 1996) でみると16個体のうち谷頭凹地、上部谷壁斜面、頂部斜面がそれぞれ7, 7, 2個体となっている。間伐の際は株高を10 cmとした (図-1)。本報告では高さ0-10 cmの幹重量を地上部バイオマスに含めておらず、補正計算も行っていない。

幹、枝、葉の切り離しを現場で行った。幹は2 mごとの玉切りにした。枝はすべて切り離し、幹上の枝と側枝を1つにまとめてプールした。当初の計画では葉試料の回収を想定していなかったが、間伐時点で展葉がはじまっていたため、展葉期の葉バイオマスの参考値として記録した。以上の幹、枝、葉試料はすべて実験室に持ち帰った。

実験室において幹試料の形状を計測した。幹の長さおよび、元口と末口の周囲長をスチールメジャーで記録した。幹、枝および葉試料の新鮮重量 (総重量) をデジタル重量計 (鳥津, BW 22 KH) で計測した。幹試料の元口と末口から厚さ5 cm以上のディスクを採取し、含水率および材密度の測定用とした。枝と葉はそれぞれ、各個体の新鮮重量の1~2割および2~3割の試

*1 Toriyama, J., Sakai, Y., Yokoo, K., Mori, T. and Ohnuki, Y.: Aboveground biomass of a young stand of *Melia azedarach* — A case study in Kumamoto city —.

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

*3 熊本県林業研究・研修センター Kumamoto Pref. For. Res. & instruction Ctr., Kumamoto 860-0862, Japan

*4 森林総合研究所東北支所 Tohoku Res. Ctr., FFPRI, Morioka 020-0123, Japan

料をサンプリングし、含水率の測定用試料とした。ディスクと枝葉のサンプリング試料を70℃の条件で重量が一定となるまで乾燥させ、含水率を測定した。以上の新鮮重量と含水率から幹、枝葉の乾燥重量を求めた。

胸高直径を胸高周囲長と円周率により求めた。幹の材密度（樹皮を含む）および含水率は、元口と末口の2つのディスクの平均値から求めた。本試験地の地上部バイオマス（幹と枝の総和）を推定する簡素なアロメトリ式を作るため、独立変数として胸高直径、樹高もしくは枝下高の単一変数を検討した。アロメトリ式は既存研究と同じく対数変換した形で作成し（Chave *et al.*, 2005）、決定係数による評価を行った。本研究は一試験地のバイオマスを明らかにするケーススタディであるため、より複雑なアロメトリ式の構築、すなわち複数の変数と交互作用の検討、重相関係数とAIC（赤池情報量基準）によるモデル選択等は行わない。地上部バイオマスの微地形単位間の違いについて、統計ソフトウェアRのaov関数による一元配置分散分析をおこなった。

Ⅲ. 結果と考察

伐倒した16個体の個体および幹データをそれぞれ表-1、表-2に示す。樹高は171~594 cm、胸高直径は1.4~6.4 cmの範囲であった。側枝はほぼ観察されなかった。幹の乾燥重量は0.12~4.35 kgの範囲であった。枝は幹に対し平均で約4割の重量比を示したが、個体間のばらつきも大きかった。16個体の枝下高は現場計測（表-1の枝下高1）と幹試料の合算（表-1の枝下高2）で同程度であった。このため、以下のアロメトリ式の枝下高は現場計測の値にもとづく。胸高直径、樹高、枝下高の従属変数から以下のアロメトリ式を作成した。

$$\ln(AGB) = 2.44 \times \ln(DBH) - 2.69 \quad (1),$$

$$\ln(AGB) = 2.86 \times \ln(H) - 16.33 \quad (2),$$

$$\ln(AGB) = 2.69 \times \ln(H_{stem}) - 14.01 \quad (3),$$

このときAGB、DBH、H、 H_{stem} はそれぞれ地上部バイオマス(kg、表-1の幹枝重量)、胸高直径(cm)、樹高(cm)、枝下高(cm)である。式(1)~(3)の決定係数 R^2 はそれぞれ0.99、0.93、0.72であった。アロメトリ式の従属変数を幹重量とした場合も同様に、3つの独立変数の式の当てはまりの良さは胸高直径>樹高>枝下高の順であった。我々は幹重量の推定の際、枝下高が樹高よりも良い指標となりうると事前に予想したが、結果は異なった。枝下高の式の推定精度の低さの要因として、センダン若齢木の樹形のばらつきが挙げられた。特に小さいサイズの個体は、枝重量が小さく細長い幹（幹重量も小さい、例えば表-1のNo.2）から、逆に枝重量が大きく太く短い幹（幹重量が大きい、表-1のNo.14）まで樹形のばらつきが大きく、これらの個体が対数変換したアロメトリ式の推定精度を大きく下げた。

次に胸高直径によるアロメトリ式(1)を利用し、林分レベルの地上部バイオマスを推定した。地上部バイオマスは、微地形単位毎の生残本数を考慮した加重平均が 3.0 t ha^{-1} であり（表-3）、微地形単位間の違いは、植栽1年目の樹高成長で示した傾向と概ね同様であった（鳥山ほか、2020）。すなわち頂部斜面で有意に

低く、上部谷壁斜面と谷頭凹地の間に有意差はなかった（表-3）。植栽1年目の樹高成長（ cm year^{-1} ）は谷頭凹地が頂部斜面に対し平均で3.0倍の値を示した（鳥山ほか、2020）。これに対し、植栽3年目の平均個体重（kg）では2.9倍、生残率を考慮した地上部バイオマス（ t ha^{-1} ）では3.7倍の違いとなり（表-3）、個体の成長の良し悪しだけでなく、生残率の違いが地上部バイオマスの微地形間差を広げていることが明らかとなった。

まとめると、胸高直径にもとづくアロメトリ式は樹高や枝下高の式と比べ、センダン若齢木の樹形のばらつきに起因する誤差が小さく有用であると考えられた。また、3成長期を経過したセンダンの地上バイオマスは頂部斜面で著しく低く、20年伐期を目標とする早生樹林業の立地として頂部斜面は不適であると考えられた。今後はセンダン林業の実行可能性をより詳しく検討するため、林分収量のみならず、林分内の材質のばらつきについても、立地因子の影響を明らかにする必要がある。

Ⅳ. 謝辞

本研究は科学研究費助成事業19KT0039「国産早生樹材の供給シナリオを規定する社会経済的因子の解明」の助成を受けた。研究の遂行にあたり以下の作業協力を得た（敬称略）。川合浩太、松永道雄、阪本由美子、作森あかね（森林総研九州）、松永順（九州育種場）。ここに深謝する。

引用文献

- Chave *et al.* (2005) *Oecologia*. 145 : 87 - 99
 田村俊和 (1996) 水文地形学, 177 - 189, 古今書院, 東京
 鳥山淳平ほか (2020) 九州森林研究 73 : 129 - 130
 (2021年11月4日受付; 2021年12月10日受理)

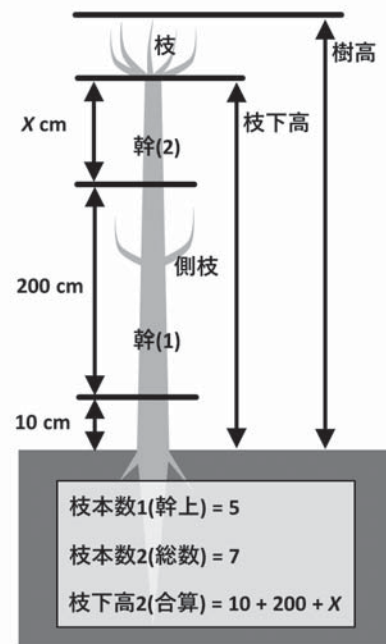


図-1. 本研究における樹高と枝下高
枝本数の数字は模式図の例を示す。幹(1)は地上高10 cmより上の元玉（長さ2 mまで）、幹(2)は2番玉にそれぞれ対応する。

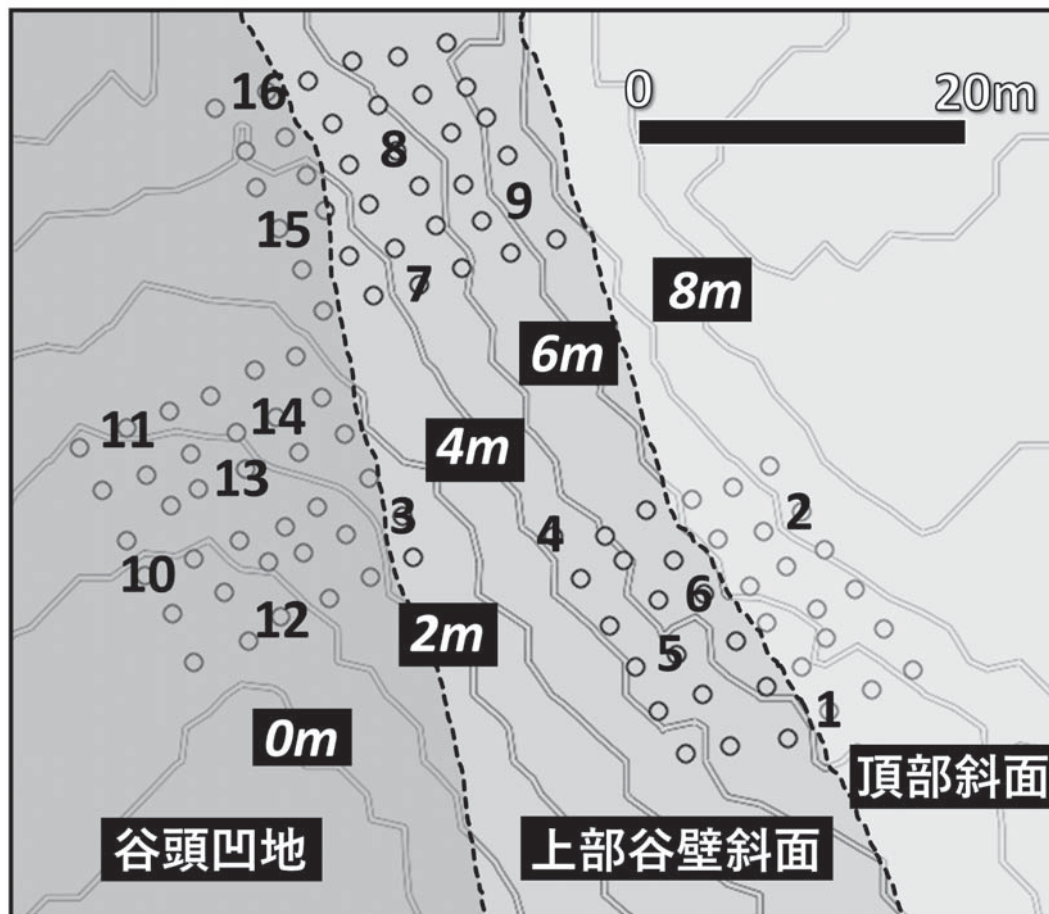


図-2. 本試験地における伐倒試験の対象木の位置図

黒色数字は対象木の通し番号を示す（表-1、表-2の対象木Noと共通）。白丸は植栽位置を示す。白線と白色数字はそれぞれ1m等高線と基準点からの相対標高差、黒色点線は微地形単位の境界を示す。

表-1. 伐倒試験の対象木の個体データ

対象木 No	個体 ID	微地形	樹高	cm				kg				
				胸高直径	枝下高1	枝下高2	枝本数1	枝本数2	幹重量	枝重量	幹枝重量	葉重量
1	70	頂部斜面	171	-	113	103	3	3	0.12	0.03	0.15	0.029
2	48	頂部斜面	183	1.4	156	147	2	2	0.16	0.02	0.18	0.025
3	30	上部谷壁斜面	481	5.0	275	269	4	4	2.32	0.93	3.24	0.116
4	37	上部谷壁斜面	408	5.3	291	283	10	10	2.67	1.00	3.68	0.116
5	56	上部谷壁斜面	482	6.4	285	294	19	19	4.35	1.67	6.02	0.198
6	51	上部谷壁斜面	310	3.8	186	178	6	6	1.11	0.47	1.59	0.097
7	105	上部谷壁斜面	540	5.0	318	325	9	9	2.86	1.03	3.89	0.111
8	88	上部谷壁斜面	524	5.6	328	355	14	14	3.20	1.09	4.29	0.083
9	102	上部谷壁斜面	260	2.6	171	168	3	3	0.49	0.15	0.65	0.029
10	19	谷頭凹地	477	5.4	295	309	14	14	3.10	1.31	4.41	0.158
11	2	谷頭凹地	594	5.9	382	390	8	8	4.11	1.41	5.52	0.081
12	33	谷頭凹地	521	5.1	291	295	6	7	2.71	1.20	3.90	0.135
13	16	谷頭凹地	428	4.7	210	210	12	12	2.01	1.20	3.20	0.180
14	11	谷頭凹地	327	4.0	143	136	7	7	0.98	0.87	1.85	0.082
15	91	谷頭凹地	435	4.4	277	275	5	5	1.84	0.57	2.41	0.059
16	74	谷頭凹地	503	4.5	326	340	7	7	2.12	0.62	2.74	0.052

対象木 No: 対象木の通し番号 (図-2、表-2と共通)、枝下高1: 落葉期の現地測量 (2021年3月3日) による、枝下高2: 幹試料の長さ+10cm による、枝本数1: 幹より上方の枝の数、枝本数2: 枝本数1に側枝を足した全ての枝の数

表-2. 伐倒試験の対象木の幹試料データ

対象木 No	個体 ID	序列	材の長さ	下端高	上端高	元口直径	末口直径	新鮮重量 乾燥重量		材密度	材積
								kg	kg		
					cm				g cm ⁻³		cm ³
1	70	1	93	10	103	2.2	1.6	0.24	0.12	0.545	215
2	48	1	137	10	147	2.3	1.6	0.31	0.16	0.600	262
3	30	1	200	10	210	6.8	4.5	3.66	1.97	0.462	4271
4	37	1	200	10	210	6.8	4.5	3.94	2.20	0.487	4519
5	56	1	200	10	210	9.2	5.6	6.32	3.55	0.486	7311
6	51	1	168	10	178	5.3	3.6	2.07	1.11	0.485	2296
7	105	1	200	10	210	6.8	4.8	3.80	2.13	0.486	4387
8	88	1	200	10	210	7.0	5.0	4.12	2.33	0.483	4822
9	102	1	158	10	168	3.6	2.5	0.90	0.49	0.515	961
10	19	1	200	10	210	7.0	4.9	4.37	2.42	0.483	5015
11	2	1	200	10	210	7.9	5.9	4.78	2.70	0.493	5471
12	33	1	200	10	210	7.0	4.7	3.88	2.17	0.474	4592
13	16	1	200	10	210	6.6	4.8	3.64	2.01	0.494	4064
14	11	1	126	10	136	5.7	4.3	1.76	0.98	0.542	1816
15	91	1	200	10	210	6.0	3.8	2.77	1.56	0.478	3269
16	74	1	200	10	210	5.7	4.0	2.81	1.58	0.481	3276
3	30	2	59	210	269	4.5	4.5	0.65	0.34	0.396	870
4	37	2	73	210	283	4.5	4.2	0.86	0.47	0.446	1061
5	56	2	84	210	294	5.6	5.3	1.46	0.80	0.437	1827
7	105	2	115	210	325	4.8	4.2	1.32	0.73	0.423	1735
8	88	2	145	210	355	5.0	3.3	1.56	0.87	0.453	1923
10	19	2	99	210	309	4.9	3.8	1.26	0.67	0.421	1597
11	2	2	180	210	390	5.9	4.6	2.45	1.41	0.464	3039
12	33	2	85	210	295	4.7	4.1	0.99	0.53	0.415	1280
15	91	2	65	210	275	3.8	3.8	0.50	0.28	0.437	631
16	74	2	130	210	340	4.0	3.4	0.99	0.54	0.418	1298

対象木 No：対象木の通し番号（図-2，表-1と共通），序列：材の順序（1が元玉，2が2番玉），材積：1000×乾燥重量／材密度による。

表-3. 地上部バイオマスの微地形単位間の違い

微地形区分	植栽本数	生残本数	平均個体重（地上部）	地上部バイオマス
			kg	t ha ⁻¹
頂部斜面	18	14	1.19 ± 0.81a	1.03
上部谷壁斜面	46	40	3.14 ± 1.70b	3.04
谷頭凹地	44	44	3.44 ± 2.11b	3.82
加重平均	—	—	3.00 ± 1.95	3.02

生残本数は間伐前の2021年3月3日時点。加重平均は生残本数の重みづけにもとづく。平均個体重の異なるアルファベットは、一元配置分散分析の有意差を示す。