

多雪地帯スギ人工林における燃材生産量の推定

図子 光太郎（富山県農林水産総合技術センター森林研究所）

I はじめに

再生可能エネルギー固定価格買取制度を背景に木質バイオマス発電所の建設が全国的な広がりをみせるなか、富山県においても2015年から木質バイオマス発電所（発電規模5,750kw）が稼働を開始した。こうした木質バイオマス発電所向けの燃材として素材生産の過程で発生する末木枝条や切り捨て間伐材などの未利用木質バイオマスの活用が想定されている（相川 2013）。しかし、搬出や収集にかかるコストと木材の販売収益との兼ね合いから、現実的に発電用燃材として供給されるのは、大きな曲がりなどの欠点のある樹幹から採られた低質材が大部分である。また、富山県では積極的に利用されていないが、プロセッサによる造材過程で発生する端材も経済的に利用可能であるとされている（鈴木ら 2009）。

こうした低質材や端材の発生量の推定を林分レベルで行えるようにすることは、燃材供給を含めた素材生産における経営収支や燃材供給量の推定を行ううえで欠かせない。また、富山県のような多雪地帯では積雪による根元曲がりが普遍的に発生し、根元曲がりの程度によって低質材や端材の発生量が大きく変動する可能性がある（図子・嘉戸 2015）。そこで、根元曲がりを有するスギ人工林において、素材生産の過程で発生する低質材や端材の量を調査し、根元曲がりを考慮した低質材および端材の発生量推定モデルの作成を試みた。

II 調査方法

調査は富山県内の18箇所のスギ林分において合計543本の立木を対象に行った（表-1）。供試する立木について、伐倒前に胸高直径および樹高を測定するとともに、樹幹形状分類基準（図-1）に基づいて幹の形状を分類した。この分類基準の詳細は既往の報告（図子・嘉戸 2015）に記載されている。なお、立木の樹幹形状を評価したところ、5級に分類された個体が少なかったことから、本論では4級の個体と併せて解析した。

立木の伐倒はチェーンソーにより、伐倒木の玉切りおよび枝払いはプロセッサにより行った。丸太の長さは基本的に4mとし、根元側から造材し、梢端側で4mの長さが確保できない場合のみ長さ2mでの採材も可とした。また、幹から採材される長さ2m未満の材を端材と定義した。なお、最小利用直径は8cmとし、径がこれに満たない材は丸太および端材には含めなかった。

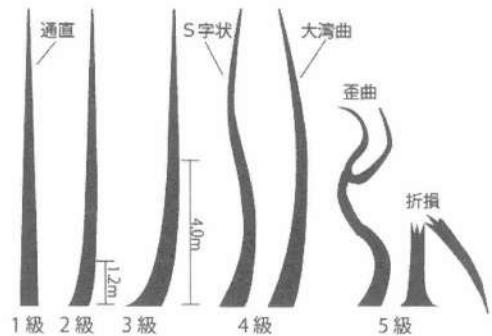


図-1. 樹幹形状分類基準

表一 1. 調査対象木の概要

調査林分	調査本数	平均胸高直径 cm	平均樹高 m	平均幹材積 m ³	樹幹形状級 (本数)				
					1級	2級	3級	4級	5級
安居	16	26.81 (±7.0)	19.72 (±3.7)	0.59 (±0.39)	0	4	2	10	0
河西	29	27.17 (±5.2)	17.98 (±3.8)	0.52 (±0.28)	16	7	3	3	0
岩木	12	25.57 (±7.4)	19.71 (±4.1)	0.55 (±0.34)	0	10	1	1	0
吉友	101	22.04 (±5.6)	13.87 (±4.7)	0.30 (±0.23)	2	26	35	36	2
山川	32	27.75 (±11.1)	17.58 (±5.5)	0.66 (±0.58)	14	10	5	2	1
七分一	8	30.05 (±8.8)	20.29 (±4.8)	0.76 (±0.52)	0	4	2	2	0
小菅沼	13	19.35 (±4.6)	14.93 (±3.3)	0.24 (±0.16)	0	5	7	1	0
上牧	23	22.96 (±3.0)	16.66 (±4.2)	0.35 (±0.15)	0	17	5	1	0
須山	13	28.63 (±6.8)	24.59 (±4.3)	0.83 (±0.55)	2	8	3	0	0
西笹津	54	24.83 (±10.1)	16.47 (±3.1)	0.47 (±0.51)	2	15	24	8	5
大玉生	29	24.40 (±6.1)	17.45 (±4.1)	0.44 (±0.27)	0	18	7	3	1
田靱	35	30.00 (±7.7)	23.28 (±2.8)	0.84 (±0.50)	4	13	8	10	0
頭川	15	39.13 (±2.9)	26.42 (±2.4)	1.42 (±0.23)	11	4	0	0	0
堂ノ上	67	25.64 (±6.4)	20.29 (±4.4)	0.56 (±0.35)	9	47	10	1	0
布尻	43	23.51 (±5.3)	18.30 (±3.7)	0.42 (±0.24)	14	18	7	3	1
北一	9	41.87 (±7.6)	25.81 (±2.3)	1.60 (±0.54)	4	4	1	0	0
末友	36	24.00 (±6.8)	19.63 (±2.8)	0.48 (±0.28)	6	23	4	1	2
箕輪	8	38.90 (±12.4)	24.05 (±6.3)	1.44 (±0.99)	2	3	3	0	0

カッコ内は標準偏差

造材された丸太は、末口直径（皮付き）、元口直径（皮付き）、材長、最大矢高を測定し、表一 2 に示す基準によって、A 材、B 材、C 材の 3 つの品質等級に分類した。本論では、ここで C 材とされたものを燃材向けの低質材として取り扱った。また、端材については、末口直径、元口直径、材長を測定した。丸太および端材の材積はスマリアン式を用いて算出した。

表一 2. 丸太品質等級の分類基準

品質等級	分類基準				
	矢高率	材長	末口径	節	その他欠点
A材(末口径30cm未満)	0.25 cm / m 以下	4m以上	8cm以上	長径が10cm以下	虫食い、腐れおよび割れがないこと
A材(末口径30cm以上)	0.5 cm / m 以下		30cm以上		
B材	0.25 ~ 1.25 cm / m	2m以上	15cm以上	長径が15cm以下	腐れおよび割れがないこと
C材	—	2m以上	8cm以上	—	—

単木当たりの C 材および端材の発生量を推定する統計モデルを作成した。その際、C 材や端材が発生しない立木が比較的高い割合で存在した。そこで、C 材および端材の発生の有無を推定するための発生確率モデルと、それらが発生した場合の発生量を推定するための発生量モデルを作成した。発生確率モデルは、C 材および端材の発生の有無を応答変数に、胸高直径、樹高、樹幹形状分類基準による樹幹形状級を説明変数に、調査林分をランダム効果とし、一般化線形混合モデルを用いて解析を行った。誤差分散には二項分布を仮定し、接続関数にはロジットを用いた。また、発生量モデルは、C 材および端材の発生量を応答変数に、胸高直径、樹高、樹幹形状級を説明変数に、調査林分をランダム効果とし、一般化線形混合モデルを用いて解析を行った。誤差分散にはガンマ分布を仮定し、接続

関数には対数を用いた。発生確率モデルおよび発生量モデルともに、最適モデルを作成するため赤池情報量規準 (AIC) をもとに変数選択を行った。なお、これらの統計解析にあたって、解析ソフトウェアの R ver. 3.2.4 (R Core Team 2016) とその関数パッケージ lme4 を使用した。

Ⅲ 結果

丸太材積の平均歩留まり (丸太材積 / 幹材積) は林分によって 62.8% から 87.6% の範囲にあり、平均 76.0% となった。C 材率 (C 材材積 / 幹材積) は林分により 3.3% から 50.9% までかなり大きな差があり、平均すると 22.5% となった。端材率 (端材材積 / 幹材積) も C 材と同様に林分による差が大きく、0.7% から 14.9% の範囲をとり、平均は 5.5% となった。また、C 材および端材の丸太材積に対する割合は平均するとそれぞれ 29.6% および 7.7% であった。

C 材の発生確率および C 材が発生した場合の発生量について、一般化線形混合モデルによる解析結果を表-3 および表-4 にそれぞれ示した。これらの解析結果から得られる C 材の発生確率と発生量の積を発生確率を考慮した C 材発生量とし、胸高直径、樹高および樹幹形状級との関係を図-2 に示した。C 材の発生量は直径が大きくなるに従い増加する傾向があった。また、樹幹形状が 1 級から 4・5 級に到るに従って C 材の発生量は増加した。一方、発生確立モデルでは樹高が説明変数として採用されたが、発生量に及ぼす影響はわずかであった。

端材の発生確率および端材が発生した場合の発生量について、一般化線形混合モデルによる解析結果を表-5 および表-6 にそれぞれ示した。これらの解析結果から得られる端材の発生確率と発生量の積を発生確率を考慮した端材発生量とし、胸高直径および樹幹形状級との関係を図-3 に示した。端材の発生量は胸高直径が大きく

表-3. C 材発生確率に関する一般化線形混合モデル

	推定値	標準誤差	z値	p
切片	2.209	0.773	2.856	0.004
胸高直径	-0.061	0.024	-2.510	0.012
樹高	0.084	0.047	1.774	0.076
樹幹形状3級	0.807	0.405	1.991	0.046
樹幹形状4・5級	1.776	0.640	2.776	0.006
標準偏差 調査林分	0.972			

表-4. C 材発生量に関する一般化線形混合モデル

	推定値	標準誤差	t値	p
切片	-3.478	0.179	-19.466	<0.001
胸高直径	0.036	0.004	9.482	<0.001
樹幹形状2級	0.236	0.090	2.613	0.009
樹幹形状3級	0.500	0.100	5.016	<0.001
樹幹形状4・5級	0.503	0.107	4.716	<0.001
標準偏差 調査林分	0.290			

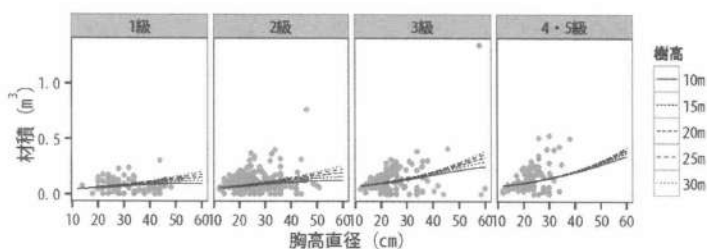


図-2. C 材材積と樹幹形状級、胸高直径、樹高との関係

なるに従い指数関数的に増加した。樹幹形状 4・5 級では他の樹幹形状級に比べ端材発生量がやや多くなる傾向があったが、その他の樹幹形状級では大きな差は認められなかった。また、樹高は発生確率モデルおよび発生量モデルともに説明変数として採用されなかった。

IV 考察

鈴木ら (2009) は、高知県において造材工程で発生した端材および C 材の発生量を調査し、幹材積に対する端材と C 材の材積和の割合は平均で 14.3% になると報告している。本調査では、C 材率が平均 22.5%、端材率が 5.5% となり、鈴木らの結果に比べ高くなっている。鈴木らの結果では、端材の発生量は総じて C 材の量を上回り、端材率は 12% を超えている。また、酒井ら (2015) は北海道における広域的な調査から、製材用およびチップ用の丸太を搬出した後の残材の幹材積に対する割合は全木システムで 28%、全幹システムで 17% としている。このように、他地域での調査に比べ、本調査において造材地点に残置される端材の量はかなり少ないようである。富山県では根元曲がりやその他欠点があっても、C 材として積極的に搬出を図っているためかもしれない。

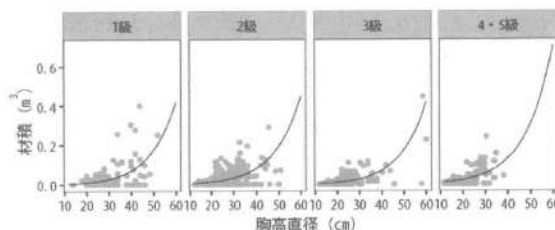
一般化線形混合モデルの解析結果から C 材の発生量は対象となる立木の樹幹形状級によって大きく変動する。端材の発生量についても、対象となる立木のサイズに依存する傾向が強いものの、樹幹形状級の影響は認められる。このため、根元曲がりが普遍的に発生す

表一 5. 端材発生確率に関する一般化線形混合モデル

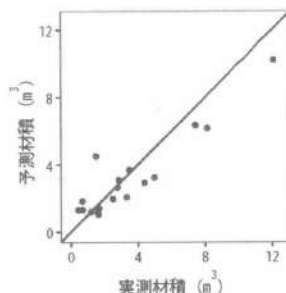
	推定値	標準誤差	z値	p
切片	-1.122	0.599	-1.874	0.061
胸高直径	0.049	0.016	3.124	0.002
樹幹形状2級	0.644	0.236	2.723	0.006
樹幹形状4・5級	0.791	0.317	2.492	0.013
標準偏差 調査林分	1.510			

表一 6. 端材発生量に関する一般化線形混合モデル

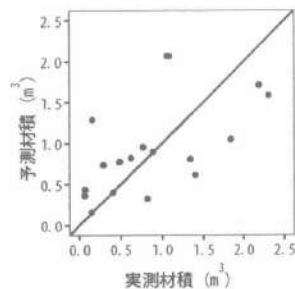
	推定値	標準誤差	t値	p
切片	-5.449	0.202	-26.953	<0.001
胸高直径	0.079	0.005	14.469	<0.001
樹幹形状4・5級	0.443	0.100	4.423	<0.001
標準偏差 調査林分	0.231			



図一 3. 端材材積と樹幹形状級、胸高直径との関係



図一 4. C 材発生量モデルによる予測値と実測値の比較



図一 5. 端材発生量モデルによる予測値と実測値の比較

る多雪地帯人工林において、根元曲がりの影響を考慮せずに燃材用素材の供給可能量を推定すると、大きな誤差につながる可能性がある。

本論で作成したC材および端材に関する統計モデルを用いて、調査林分毎のC材および端材の発生量を予測し、実測値との比較から予測精度を検証した(図-4、図-5)。C材発生量の平均二乗誤差および平均誤差率はそれぞれ0.31 m³および9.2%となった。また、端材発生量の平均二乗誤差および平均誤差率はそれぞれ0.06 m³および6.4%となった。林分レベルの発生量予測において、十分に高い精度とはいえないまでも、林業事業者や森林所有者が生産計画や収益予測などの目的に使用するのであれば実用的な精度を有していると考えられる。なお、今後これらの成果をもとに県域あるいは地域レベルでの燃材供給量の推定を試みる予定である。

引用文献

- 相川高信 (2013) : ビジネス成功へ。木質バイオマス利用講座第6回 燃料価格はいくらが適当か?。
現代林業 570 : 48~53
- R Core Team (2016) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation
for Statistical Computing, URL [http:// www. R-project. org/](http://www.R-project.org/)
- 酒井明香・寺田文子・渡辺一郎・佐々木尚三 (2015) 北海道における機械作業システムと林地
残材率を考慮した林地残材集荷可能量の推定。森利誌 30 : 71-78
- 鈴木保志・蘇我山正治・後藤純一 (2009) : 利用間伐時に土場および道端に発生する林地残材バ
イオマスの量と形状分布。森林バイオ利誌 4 : 43~48
- 図子光太郎・嘉戸昭夫 (2015) : 樹幹形状分類を用いたスギ根元曲がり木の利用材積および品質
等級別材積率の推定。日林誌 97 : 269-275