

【論文】

## タテヤマスギ人工林における成長経過と システム収穫表「シルブの森」による成長予測精度の検証

岡山 侑子・中島 春樹

The growth records of Tateyama-sugi (*Cryptomeria japonica* D.Don) stands and verification of the system yield table “Silv-no-mori”

Yuko OKAYAMA, Haruki NAKAJIMA

最新調査年時の林齢が41～92年生である20調査地のタテヤマスギ人工林について、これまでに得られたデータを用いて成育経過を明らかにした。平均胸高直径および林分材積は50年生以降も頭打ちすることなく増加する傾向がみられ、平均樹高についても多くの調査地で従来のタテヤマスギの成長曲線である「新立山」と同等以上の推移を示すことが明らかとなった。10調査地のデータを用いて、胸高直径階分布の実測値とシステム収穫表「シルブの森」による4～30年後までの予測値について分布の差異を検定した結果、有意な差異はみられなかった。以上のことから、「シルブの森」に多少調整を加えることによって、富山県内の高齢林化した林分においてさらに高い精度で成育を予測可能であることが示唆された。

キーワード：高齢スギ人工林・システム収穫表・成長予測・直径階分布

### 1. はじめに

近年、材価低迷や林業従事者の減少などによりスギの標準伐期齢における皆伐が控えられ、スギ人工林の高齢化が進んでいる。これまで、林分材積の成長量は林齢とともに増加し、最大に達した後、徐々に衰退していくと考えられてきたが (Kira and Shidei 1967 ; Ryan et al 1997), 高齢人工林における個体の直径成長は従来考えられてきた以上に持続し、林分単位でも高い材積成長速度を維持していることが明らかにされつつある (丹下ら 1987 ; 杉田ら 2017)。また、伐期の長期化は大径材の生産、安定した環境と土地生産力の維持、水土保持や生物多様性などの環境保全機能の効果が高い (桜井 2002) 施業方法でもあるとされている。

嘉戸・田中 (1995) は、富山県の主要なスギ品種であるタテヤマスギの標準伐期齢 (50年程度) を対象としたシステム収穫表「シルブの

森」を作成した。しかし、前述のような様々な理由によって人工林の伐期齢を従来以上に延長する傾向が強まり、高齢林にも対応したシステム収穫表が必要となってきた。そこで、新たに調査した高齢林の資料を加えて成長パラメータを調整し、100年生程度の長伐期施業にも対応するように「シルブの森」が調製された (嘉戸・田中 2009)。

高齢人工林における長伐期施業を考えるにあたり、これまで林分密度管理図による胸高直径および林分材積成長の推定 (竹内 2005) や従来の「シルブの森」による成長予測 (嘉戸・田中 2009) が報告されてきたが、県内の高齢級を含む実測データに基づく報告は少ない。富山県森林研究所では、県内複数箇所のスギ人工林における毎木調査を継続的に行ってきた。本報告では、これまでに得られたデータを用いて林齢の異なる20調査地 (最新調査年時の林齢41年生～92年生) における林分

成長の傾向を分析し、県内の高齢林化しつつあるタテヤマスギ人工林における成長経過を明らかにした。さらに、うち10調査地のデータを用いて、高齢林対応版の「シルブの森」の予測精度について検証を行った。

## 2. 調査地概要とデータ解析方法

林分成長分析では、5年ごとに調査が行われた酸性雨実態調査（5調査地）の毎木調査データ（小林ら 未発表）および4年ごとに調査が行われた森林資源モニタリング調査（15調査地）の毎木調査データ（相浦ら 2021）計20調査地のデータを用いて解析を行った。各調査地の概要を表-1に示した。

各調査地における調査年ごとに、平均胸高直径、平均樹高、胸高断面積合計、林分材積を求めた。林分材積については、胸高直径と樹高から立木幹材積表 西日本編（林野庁計画課 1970）を用いて個体ごとに算出し、調査地の全個体について積算することで求めた。樹高未測定個体の樹高については、各調査地の胸高直径と樹高データから求めた定数をヘンリクセンの樹高曲線式

$$H = a + b \times \ln(D)$$

H：樹高，D：胸高直径，a，b：定数

にあてはめて推定した。地位指数は、各調査地の最新調査年時の平均樹高をミッチャーリッヒ成長曲線

$$H_t = H_m (1 - L \exp(-k \cdot t))$$

H<sub>t</sub>：各調査地の最新調査年時の平均樹高，  
H<sub>m</sub>：平均樹高の最終到達量，t：各調査地の最新調査年時の林齢，L，k：係数

にあてはめて算出した。係数Lおよびkの値は「シルブの森（Ver.11.00）」で使用される値（L：1.065，k：0.0253）とした。

人工林成長量調査地のうち、調査期間中に間伐が実施されておらず立木本数に変化のなかった105（芦峠寺）、107（東猪谷7）、110（窪大坂山）、111（田糶）、112（護摩堂）、115（堂の上）、116（極楽坂1）、118（東種）、120（大玉生）の9調査地については、調査開始時の成育調査の結果から「シルブの森（Ver.11.00）」を用いて4年後または8年後を予測した値と実測値の比較を行った。ただし、人工林成長量調査は4年ごとに行われているのに対し、「シルブの森」による林分材積等の予測値は5年ごとに算出されるため、4年ごとの予測値を算出できるように一部を改変した。また、調査期間の長い106（東猪谷）について実測値と30年後までの予測値の比較を行った。106（東猪谷）は無間伐施業地であるが調査期間中に自然枯死木があったため、間伐木とみなして「シルブの森（Ver.11.00）」に入力し予測値を算出した。これらの10調査地における直径階分布について、実測分布と予測分布に差があるか明らかにするため、コルモゴロフ・スミルノフ検定を行った。データの解析は統計解析パッケージR 3.6.3（R Core Team 2020）で行った。

表-1 調査地の概要

No.	調査地名	植栽年 (yr)	調査開始 年(yr)	最新調査 年(yr)	林齢 (最新調査年時)	面積(ha)	標高 (m)	最終間伐 年	地位指数
1	宇奈月	1969	1990	2019	51	0.1	260	2007	23
3	大岩	1957	1990	2015	59	0.1	444	1976	17
5	山田温泉	1956	1991	2019	64	0.1	204	1991	23
7	泊	1962	1992	2017	56	0.1	207	1991	20
14	剣岳	1953	1994	2018	66	0.1	638	1981	19
101	与四兵衛山	1963	1984	2018	56	0.15	500	2014	18
102	原1	1954	2010	2018	65	0.1	580	2010	21
104	東黒牧	1964	2010	2018	55	0.1	160	2008	20
105	芦峠寺	1947	2010	2018	72	0.1	690	2009	19
106	東猪谷	1941	1983	2019	79	0.09	495	無間伐	19
107	東猪谷7	1966	2011	2019	54	0.1	691	2010	23
108	片掛	1960	2011	2019	60	0.1	215	無間伐	19
109	天池	1960	2011	2019	60	0.1	268	2014	20
110	窪大坂山	1952	2011	2019	68	0.1	380	2011	22
111	田糶	1948	2012	2016	69	0.1	428	2011	22
112	護摩堂	1976	2012	2016	41	0.1	411	2012	21
115	堂の上	1952	2012	2016	65	0.1	390	2012	22
116	極楽坂1	1926	2013	2017	92	0.1	530	無間伐	22
118	東種	1971	2013	2017	47	0.1	320	2012	25
120	大玉生	1961	2013	2017	57	0.1	462	2012	23

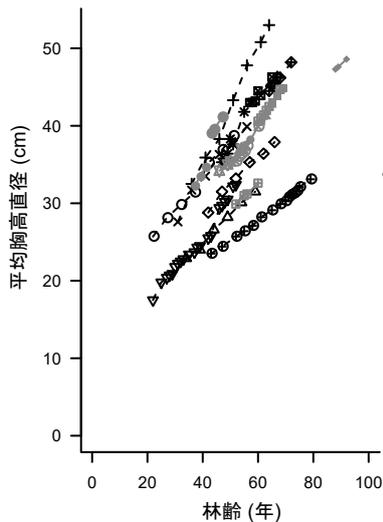


図-1 林齢と平均胸高直径  
凡例は図-3の右に表示

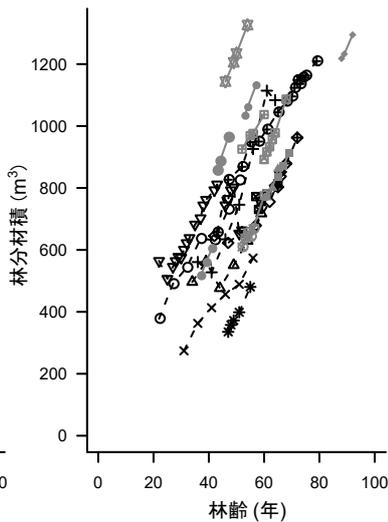


図-2 林齢と林分材積  
凡例は図-3の右に表示

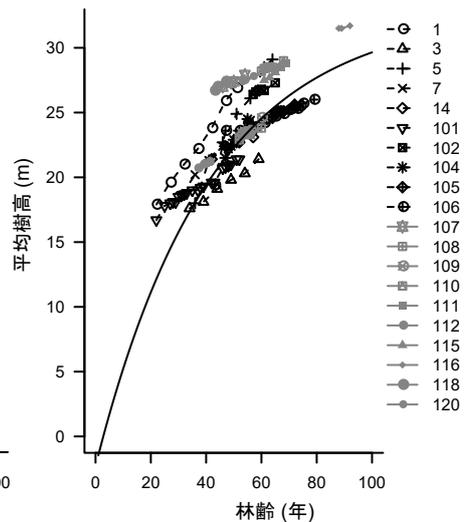


図-3 林齢と平均樹高  
図中の実線はタテヤマスギの密度管理図「新立山」による地位別の上層高成長曲線の中心線を示す。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 各調査地の成長経過

各調査地における平均胸高直径、林分材積、平均樹高と林齢の関係を図-1～図-3に示した。平均胸高直径および林分材積は、50年生以降も頭打ちすることなく増加する傾向がみられた。半数以上の調査地における平均樹高の成長経過は、これまでのタテヤマスギの成長曲線「新立山」(嘉戸 2014)を上回ることが示された。スギ高齢林では胸高直径成長が持続することで林分単位の高い材積成長量を維持している場合が多いとされており(渡邊・茂木 2007)、富山県内のタテヤマスギ人工林においても同様の傾向があることが明らかとなった。

富山県におけるタテヤマスギ人工林のおおよその地位指数は、上:22, 中:19, 下:16とされている(嘉戸 2005)。本研究の対象とした各調査地における地位指数は17～25であり、約半数の調査地において22以上だった(表-1)。

#### 3.2 成長予測精度の検証

成長予測精度の検証を行った各調査地における林分構成値の実測値と「シルブの森」による予測値を表-2に示した。平均樹高の予測値に対する差異は-6.3%～+6.5%であった。平均胸高直径における予測値に対する差異は、106(東猪

谷)の15年後で-0.7%だったほかは+1.1%～+6.8%と予測値を上回った。その結果、胸高断面積合計における予測値との差異は、106(東猪谷)の15年後で-2.3%だったほかは+1.3%～+13.2%となり、予測値を大幅に上回る調査地もあった。林分材積についても、平均樹高の予測値に対する差異が-6.3%であった107(東猪谷7)を除くと、予測値との差異は+0.7%～+13.9%であり、多くの調査地で予測値を大幅に上回っていた。この結果は、100年生程度の長伐期施業にも対応するように調製されたシステム収穫表「シルブの森」でも、高齢化した林分の直径成長を過小に評価する傾向があり、予測に用いる成長パラメータについてさらに調整する必要があることを示唆するものと考えられる。

胸高直径階分布の実測値と予測値についてコロモゴロフ・スミルノフ検定を行った結果、30年後までの予測を行った106(東猪谷)を含め、いずれの調査地でも有意確率が5%より大きかったことから、胸高直径については実測値と予測値の分布に有意な差はないことが示された(表-2, 図-4)。これらの結果から、高齢林対応版の「シルブの森」は高齢林化した林分においても直径階分布の将来予測が可能であることが示唆された。

表-2 無間伐調査地における林分構成値の実測値と「シルブの森」による予測値および直径階分布に対するコルモゴロフ・スミルノフ検定の結果

No. 調査地名		立木本数 (本/ha)	平均樹高 (m)	平均胸高直径 (cm)	胸高断面積合計 (m <sup>2</sup> /ha)	林分材積 (m <sup>3</sup> /ha)	コルモゴロフ・スミルノフ検定	
							P	D
105 芦峯寺	実測値	480	25.6	48.2	89.4	962.5	1.000	0.06
	64年生で8年後を予測 予測値	480	26.0	45.1	79.0	875.4		
107 東猪谷7	実測値	970	27.9	37.0	104.6	1326.0	1.000	0.04
	46年生で8年後を予測 予測値	970	29.8	36.3	103.2	1403.8		
110 窪大坂山	実測値	540	29.0	44.7	88.0	1086.9	0.964	0.10
	60年生で8年後を予測 予測値	540	30.1	42.6	80.1	1035.0		
111 田靱	実測値	440	28.8	44.8	73.5	914.2	0.711	0.14
	65年生で4年後を予測 予測値	440	28.9	43.5	69.3	872.9		
112 護摩堂	実測値	640	21.2	34.6	61.8	603.4	1.000	0.16
	37年生で4年後を予測 予測値	640	22.1	33.5	58.3	596.1		
115 堂の上	実測値	480	28.1	42.7	70.7	861.6	1.000	0.06
	61年生で4年後を予測 予測値	480	28.2	41.0	65.4	809.3		
116 極楽坂1	実測値	500	31.7	48.6	96.9	1294.6	1.000	0.04
	88年生で4年後を予測 予測値	500	31.3	46.6	89.1	1184.8		
118 東種	実測値	580	27.4	41.1	79.8	962.9	0.997	0.08
	43年生で4年後を予測 予測値	580	28.2	40.2	76.6	956.1		
120 大玉生	実測値	760	27.8	38.2	90.1	1130.8	0.864	0.12
	53年生で4年後を予測 予測値	760	28.4	37.1	85.6	1101.9		
106 東猪谷	実測値	1367	23.9	27.1	82.2	949.9	0.999	0.09
	42年生で15年後を予測 予測値	1367	22.4	27.3	84.1	893.0		
	30年後を予測 予測値	1167	25.3	31.3	95.6	1135.8		
		1084	24.9	31.0	86.8	997.2	0.999	0.09

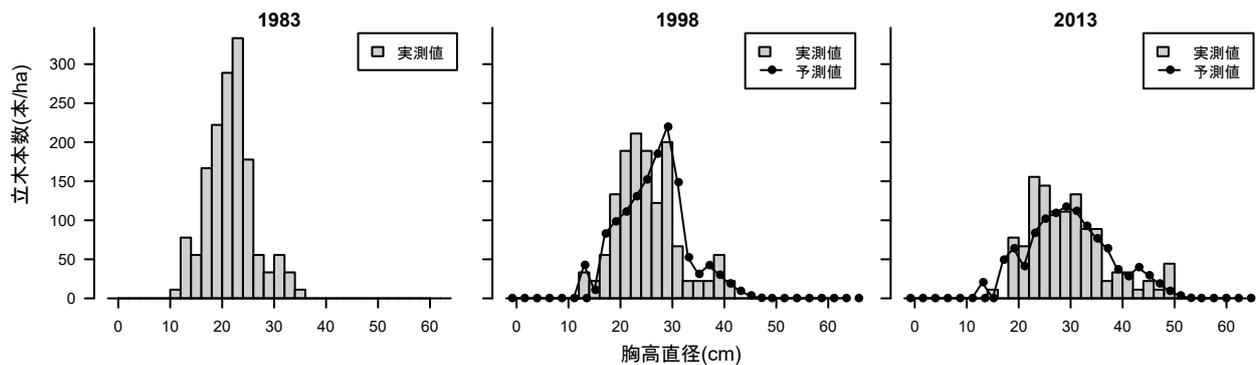


図-4 106 (東猪谷) の胸高直径階分布における実測値および予測値の推移

#### 4. おわりに

高齢人工林における長伐期施業を考えるためには、まず成長を明らかにし、適切な伐期の設定および管理を検討する必要がある。本研究において富山県内の高齢林化しつつあるタテヤマスギ人工林20林分について、これまでに得られた毎木調査のデータを用いて林分の成育経過を解析した結果、各調査年における平均胸高直径、林分材積は林齢とともに増加しており、今後も増加する傾向にあることが明らかとなった。多くの調査地における平均樹高は、富山県における長伐期施業を想定して調製された成長曲線である「新立山」を上回る推移を示し、タテヤマスギの樹高成長はこれまでの予測より大きい可能性が示された。

胸高直径の実測値と高齢林対応版の「シルブの

森」による予測値について分布の差異の有無を検証した結果、無間伐施業林であれば30年後であっても実測分布と予測分布に有意差は認められなかったことから、「シルブの森」は富山県内の高齢林化したタテヤマスギ林分における成育予測に適用可能であることが示唆された。ただし、東猪谷を除く調査地で用いた予測値は4年後または8年後と比較的短期間のものであり、胸高断面積合計や林分材積の実測値が予測値を大きく上回る林分も見受けられた。現在の「シルブの森」は間伐した立木本数を50年後まで5年ごとに入力する仕様となっているため、5年ごとでない任意の年次に間伐を計画する場合の予測を正確に行うことができないという課題がある。また、「シルブの森」では自己間引きによる立木本数の減少が考慮されていないため、特に長期間の無間伐を想定する場合

には、予測値が実測値と乖離することが懸念される。高齢林であっても林分の健全化や成長維持のための間伐による密度管理は必須である（竹内2005）ため、今後も成育調査を継続して実測データを蓄積させていくとともに、成長パラメータを再調整して予測精度を向上させ、任意の年次の間伐や自己間引きにも対応できるシステム収穫表を開発する必要があると考えられる。

#### 謝辞

本研究報告を執筆するにあたり、貴重な林分調査データをご提供いただくとともに解析方法についてご助言いただいた、富山県農林水産公社の嘉戸昭夫博士ならびに相浦英春上席専門員、関子光太郎博士をはじめとする富山県農林水産総合技術センター森林研究所の各位に対し、記して感謝申し上げます。

#### 引用文献

- 相浦英春・小林裕之・嘉戸昭夫 (2021) 森林資源モニタリング調査資料—人工林成長量調査—。富山森研報 13:27-31
- 嘉戸昭夫 (2005) 間伐を支援するシステム収穫表「富山県シルブの森」使用説明書。富山県林業技術センター林業試験場 20pp
- 嘉戸昭夫 (2014) 高齢林に対応したタテヤマスギ密度管理図。富山県農林水産総合技術センター森林研究所研究レポート No.7
- 嘉戸昭夫・田中和博 (1995) タテヤマスギの樹幹

解析資料から推定したシステム収穫表の成長パラメータ。日林論 106: 185–188

嘉戸昭夫・田中和博 (2009) タテヤマスギ林におけるシステム収穫表の成長パラメータ。富山森研報 1: 44–51

Kira, T. and Shidei, T. (1967) Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the Western Pacific. Jpn. J. Ecol. 17: 70–87

R Core Team (2020) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing

林野庁計画課編 (1970) 立木幹材積表 西日本編。日本林業調査会

Ryan, M. G., Binkley, D., and Fownes, J. H. (1997) Age-related decline in forest productivity: pattern and process. Adv. Ecol. Res. 27: 213–262

桜井尚武編著 (2002) 長伐期林の実際、その効果と取り扱い技術。林業科学技術振興所 東京 173pp

杉田久志・梶本卓也・福島成樹・高橋利彦・吉田茂二郎 (2017) 強度間伐が行われたスギ高齢人工林における林分および個体の成長。森総研報 16(4): 225–238

竹内郁雄 (2005) スギ高齢人工林における胸高直径成長と林分材積成長。日林誌 87(5): 394–401

丹下 健・山中征夫・鈴木 誠 (1987) スギ高齢人工林の生長と現存量。演習林 (東大) 25: 243–259

渡邊仁志・茂木靖和 (2007) 92年生スギ人工林における成長経過と現存量。岐阜県森林研報 36: 7–13

#### Summary

The growth records of 41- to 92-year-old Tateyama-sugi (*Cryptomeria japonica* D.Don) stands in Toyama prefecture were studied. The purpose of this study were: (1) to reveal the growth characteristics of aging Tateyama-sugi stands and (2) to examine the accuracy of the system yield table “Silv-no-mori”. The increment of diameter and stand volume were increase with aging. Most of the study site, the tree height growth was equal or greater than usual growth curve for Tateyama-sugi. These results indicated that growth of aging Tateyama-sugi stands is continue and greater than previous prospects. The results of Kolmogorov Smirnov test for measured and predicted DBH distribution by “Silv-no-mori” in several unthinned stands showed that the difference between two groups were not statistically significant. These results suggested “Silv-no-mori” can be applied to the growth estimation of long-rotation management of Tateyama-sugi.