

## 福岡県版システム収穫表作成のためのスギ林分密度管理図 および地位指数曲線の調製

檜崎康二\*・前田 一<sup>1)</sup>・佐々木重行

福岡県のスギ林における間伐や主伐時の収穫量を予測するシステム収穫表を作成するために、県内のスギ人工林 552 点の林分調査データを用いて、高齢級林分にも対応した林分密度管理図と地位指数曲線を調製した。本研究で得られた密度管理図はこれまで本県で使用されてきた密度管理図と比較して、最多密度曲線の傾きに変化がみられ、低密度時の ha 当たりの材積が増加した。地位指数曲線は Logistic 式を適用し、100 年生まで算出した。樹高成長は高齢級林分でも維持されていることが確認された。

[キーワード：スギ人工林，林分密度管理図，地位指数曲線，システム収穫表]

Preparation of a Stand Density Control Diagram and a Site Index Curve for Sugi (*Cryptomeria japonica*) Plantations to Construct a System Yield Table in Fukuoka Prefecture. NARAZAKI Koji, Hajime MAEDA and Shigeyuki SASAKI (Fukuoka Agriculture and Forestry Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. For. Res. Cent.* 1: 38-43 (2015)

We prepared a stand density control diagram and a site index curve corresponding to the highly aged forests based on the data of 552 Sugi stands to construct a system yield table for Sugi plantations in Fukuoka Prefecture. Compared with the former stand density control diagram, the revised one showed increase in the stem volume of low-density forests. The site index curve in which the Logistic function was applied was used to calculate the stem volume over a period of 100 years. Thus, it was confirmed that growth in the height of Sugi was maintained in the highly aged forests.)

[Key words: Sugi plantations, stand density control diagram, site index curve, system yield table]

### 緒言

福岡県の民有林スギ (*Cryptomeria japonica*) 人工林面積は67,506haで、民有林人工林面積128,347haの53%を占めており、スギは県を代表する造林樹種である(福岡県農林水産部 2013a)。本県では、昭和20年代後半から30年代にかけて盛んに人工造林が行われたが、木材価格の低迷等の影響により、従来の伐期(35~40年)に主伐が控えられたため、林業経営において長伐期化が進んでいる。そのため、スギ林の年齢配置は11年齢級が最も多く、高齢級側に偏ったものとなっている。

本県の森林・林業基本計画(福岡県農林水産部 2013b)では、「持続可能な林業経営の確立と、健全な森林づくりの推進」を目標とし、その中で森林の世代サイクル回復を目指し、林業経営を間伐中心から主伐中心へと誘導することが示されている。そのためには森林所有者等に対し、主伐を推進し、かつ計画的な林業経営を求める必要がある。

林業経営を行う上で、間伐や主伐を実施する際の林分材積を推定するツールの一つとして本県では簡易林分材積表がある(福岡県水産林務部治山課 1995)。簡易林分材積表は、地位等級ごとに各林齢における林分材積を示したものであるが、75年生(一部地域は60年生)の林分までしか記載がないため、高齢級林分や長伐期施業への対応が難しい。また、簡易林分材積表はある一定の施業を行った場合に予測される林分材積の変化を示したものであり、森林所有者が実施する様々な施業への対応は難しい。このような現実林分に対応する手法としてシス

テム収穫表の作成が提唱されている(稲田 1991, 長濱・近藤 2006a)。

システム収穫表を作成するために必要な要素として、林分密度管理図と地位指数曲線がある。まず、林分密度管理図については本県独自のものが無いため、林野庁が調製した「九州地方スギ林分密度管理図(林野庁 1980)」(以下、九州版)が用いられてきた。ところが、近年密度管理図において、最多密度曲線を超える林分の存在が報告され(近藤 1998)、また地域性を考慮した調整の必要性も示されており(安藤 1968, 宮島1989)、各地でその見直しが行われている(全国林業改良普及協会 2006)。

次に、地位指数曲線は林地の生産力を示す級区分の概念であり、指標として樹高成長が主に用いられている。しかし、本県のもは50年生までしか記載されていない(福岡県林務部 1978)。また、地位指数曲線についても、近年、従来考えられていた以上に高齢林でも樹高成長が維持されていることが明らかとなり、各地でその見直しが行われている(全国林業改良普及協会 2006)。

そこで本研究では、新たに高齢級林分の調査を行い、その結果と既存の林分調査データを用いて、本県に適したシステム収穫表を作成するための林分密度管理図と地位指数曲線について検討した。

### 材料および方法

林分密度管理図の調製には、林齢、調査面積、立木本数、樹高、胸高直径等の林分情報が記載された当センタ

\*連絡責任者

(資源活用研究センター森林林業部:narazaki-k5270@pref.fukuoka.lg.jp)

受付2014年 8月 1日;受理2014年11月17日

1) 現 長崎県県央振興局

一および福岡県林業振興課における県内のスギ人工林の現地調査データ 462 点と本研究で取得した高齢級林分の調査データ 90 点の計 552 点を使用した。本研究では、12 齢級以上の林分を任意に抽出し、抽出された林分においてプロットを設定し、プロット内の立木本数、胸高直径、樹高を調査した。設定したプロットの面積は、調査林分の大きさや地形などによって異なり、0.01~0.11ha の範囲内であった。樹高は VertexIII (Haglof 社製) を用いて立木全てについて測定した。552 点のデータの流域別内訳は、福岡 210 点、遠賀・山国川 166 点、筑後・矢部川 166 点、不明 10 点と県内全域からなり、林齢の範囲は 16~144 年生である。

これらの調査データを用いて、林分ごとに主林木平均樹高、ha 当たり本数、ha 当たり幹材積、ha 当たり胸高断面積合計、林分平均胸高直径、林分平均樹高を算出した。ha 当たり本数は 248~3,557 本、主林木平均樹高は 9.1~42.7m であった (第 1 表)。幹材積の算出にあたっては、本県の簡易林分材積表 (福岡県水産林務部治山課 1995) で使用されている立木幹材積表西日本編 (林野庁 1970) を用いた。

林分密度管理図および地位指数曲線における関係式の算出、調製した密度管理図の推定精度の検定は既報 (長濱 2003, 長濱・近藤 2006b, 前田 2012) にしたがって行った。このため、既報と共通する関係式等の記載は省略した。

## 結果

### 1 林分密度管理図の調製

#### (1) 各種曲線の算出

長濱 (2003), 長濱・近藤, (2006b) と同様の方法で、異常データの棄却を行い、13 点を棄却した。棄却後

の 539 点のデータを用いて、林分密度管理図を構成する各種曲線式を算出した。

ア 等平均樹高曲線 主林木平均樹高 ( $Ht$ ) に対する ha 当たり本数 ( $N$ ) と ha 当たり幹材積 ( $V$ ) の関係を示す曲線であり、次式が得られた。

$$V = \left( 0.0498 \times Ht^{-1.32613} + \frac{773.4629 \times Ht^{-2.27465}}{N} \right)^{-1}$$

イ 競争比数と限界競争比数 競争比数 ( $Rc$ ) は、ある等平均樹高曲線上の無競争状態の幹材積とその線上にある立木本数の時の幹材積との比率で、調査地ごとの競争比数を求める式として次式が得られた。

$$Rc = 773.4629Ht^{-2.27465} \times V/N$$

この式を用いて算出した競争比数の最小値である限界競争比数 ( $Rf$ ) は以下となった。

$$Rf=0.2909$$

この値を利用して後述の曲線を算出した。

ウ 最多密度曲線 最多密度曲線は、林分の生育段階 (主林木平均樹高) に応じた最多密度本数 ( $N_{Rf}$ ) と ha 当たり幹材積 ( $V_{Rf}$ ) の関係を示す曲線であり、最多密度時における ha 当たり幹材積と本数の関係は

$$V_{Rf} = 35823236.48 \times N_{Rf}^{-1.3981}$$

また、最多密度時の主林木平均樹高 ( $Ht_{Rf}$ ) に対する最多密度本数の関係は

$$N_{Rf} = 37855.36558 \times Ht_{Rf}^{-0.94852}$$

が得られた。

エ 収量比数曲線 任意の収量比数 ( $Ry$ ) の時の幹材積 ( $V_{Ry}$ ) と本数 ( $N_{Ry}$ ) の関係は

$$V_{Ry} = K_2 \times N_{Ry}^{K_1}$$

この時の本数は

$$N_{Ry} = K_4 \times Ht^{K_3}$$

第 1 表 主林木平均樹高, ha 当たり本数別調査地一覧表

ha 当たり本数	主林木平均樹高 (m)																計	
	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	40	42		
0~200												1	1		1		3	
201~400					1		2	2	2	4	2	2					1	16
401~600			1	4	4	4	5	8	4	5	6	3		2				46
601~800			5	5	14	14	16	5	8	4	4	2	1					78
801~1000	1	1	14	18	32	20	15	8	6	2	2							119
1001~1200		3	13	23	22	15	8	6	1	1	1							93
1201~1400	1	7	8	21	11	15	2	1	1									67
1401~1600	2	10	8	12	6	6												44
1601~1800	4	6	6	6	3	1												26
2001~2000	4	7	8	4	2													25
2001~2200	3	6	5	1		1												16
2201~2400	2	4	1															7
2401~2600	2	1		1														4
2601~2800	1	3																4
2801~3000	1	1																2
3001~3600		2																2
計	21	51	69	95	95	76	48	30	22	16	15	8	2	2	1	1		552

で表される。この関係式によって描画される曲線群が等収量比数曲線である。ここで、 $K_1, K_2, K_3, K_4$ は収量比数により異なる係数で、第2表の値が得られた。

第2表 各収量比数別係数

$R_y$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$
1.00	-0.95364	35823236.48	-1.47466	37855.37
0.95	-0.95364	26972441.82	-1.47466	32056.02
0.90	-0.95364	20511353.04	-1.47466	27393.17
0.85	-0.95364	15693028.08	-1.47466	23562.55
0.80	-0.95364	12041044.24	-1.47466	20359.61
0.75	-0.95364	9239207.78	-1.47466	17641.76
0.70	-0.95364	7070628.37	-1.47466	15306.55
0.65	-0.95364	5382330.18	-1.47466	13278.49
0.60	-0.95364	4063811.41	-1.47466	11500.72
0.55	-0.95364	3033579.86	-1.47466	9929.60
0.50	-0.95364	2230431.04	-1.47466	8531.08
0.45	-0.95364	1607643.03	-1.47466	7278.20
0.40	-0.95364	1129018.27	-1.47466	6149.32

オ 自然枯死線 植栽本数 ( $N_0$ ) から始まる林分は、間伐などの人為的な本数調整が加わらなければ成長過程に応じて本数が減少する。 $N_0$ に対する平均幹材積 ( $v$ ) との関係は次式が得られた。

$$v = (0.0498 \times Ht^{-1.32613} \times N + 773.4629 \times Ht^{-2.27465})^{-1}$$

$$\frac{1}{N} = \frac{1}{N_0} - \frac{v}{-1826621618.8 \times N_0^{(-1.3981)}}$$

カ 等平均直径曲線 等平均直径曲線は、設定した直径値における収量比数ごとの ha 当たり本数と ha 当たり幹材積を結ぶ線により示され、等平均直径曲線の計算に必要な式は次式が得られた。

$$HF = 2.35638 + 0.26154 \times Ht + \frac{0.26116\sqrt{N} \times Ht}{100}$$

$$G = \frac{V}{HF}, \quad \bar{D}g = \frac{200 \times G}{\pi \times N}$$

$$\bar{d} = 0.68678 + 0.97671 \times \bar{D}g - \frac{0.03031\sqrt{N} \times Ht}{100}$$

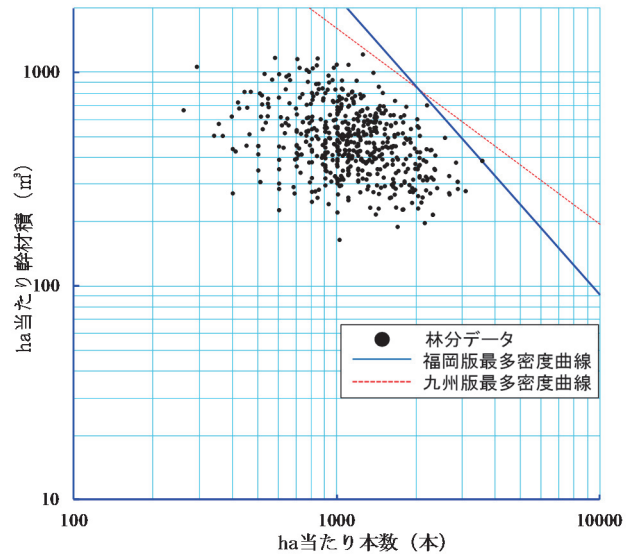
ここで、 $HF$ は林分形状高、 $G$ は断面積合計、 $\bar{D}g$ は断面積平均直径、 $\bar{d}$ は平均胸高直径である。

キ 林分密度管理図の作成 前項までの計算結果をもとに各曲線を描画し、林分密度管理図を作成した(付図)。作成した密度管理図において、最多密度曲線がこれまで本県で使用されてきた九州版に比べ傾きが右下がりに変化し、低密度時の ha 当たり幹材積が増加した(第1図)。

(2) 推定精度

各調査データの ha 当たり幹材積の実測値と、前項アで求めた式により推定される ha 当たり幹材積の推定値との誤差率を求め、その値が許容誤差率以内にあるかどうか  $\chi^2$  検定を行った。

その結果、 $\chi^2$ の値は 533.74、許容誤差率 20%とした場合の危険率 5%の  $\chi^2(0.05)$ は 594.12 で、 $\chi^2 \leq \chi^2(0.05)$ となり有意差は無かった。また、九州版の推定式による  $\chi^2$ の値は 579.4 であった。



第1図 最多密度曲線の比較

2 地位指数曲線の調製

(1) 異常データの棄却

本研究で用いたデータには、平均樹高についてプロット内を全木実測したものと、プロット内の一部を抽出実測しそれ以外を推定したものとがある。地位指数曲線は説明変数が林齢と主林木平均樹高であり、樹高は重要な因子であるため、使用するデータは樹高を実測した 210 点を用いることとした。

因子が異なることによりデータの検討方法が前段と異なるため、長濱(2006)の方法により異常データの検討を行い 14 点を棄却し、196 点のデータを用いることとした。

(2) 地位の決定

196 点の林分データを用いて林齢 ( $T$ ) と主林木平均樹高 ( $Ht$ ) の関係から地位区分を行った。分布の中心線を決定するために、植物の成長関数として利用頻度の高い Mitscherlich, Logistic, Gompertz, Richards 関数(山本ら 1982, 大隅 1987)の 4 式を用いた。これらの関数式に当てはめた結果は以下のとおりである。

Mitscherlich 式

$$Ht = 37.57424 \times (1 - \exp(-0.05577 - 0.01527 \times T))$$

$$R^2 = 0.75042$$

Logistic 式

$$Ht = \frac{30.29787}{1 + \exp(1.368267 - 0.04403 \times T)}$$

$$R^2 = 0.75511$$

Gompertz 式

$$Ht = 32.37205 \times \exp(-\exp(0.63222 - 0.02957 \times T))$$

$$R^2 = 0.75339$$

Richards 式は収束しなかった。

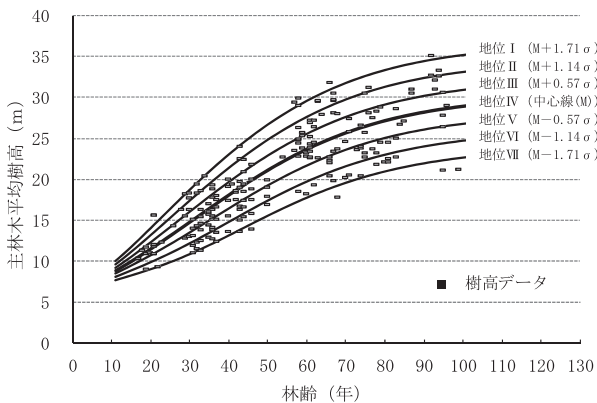
これらの結果から、地位指数曲線の中心は  $R^2$  が最も高かった Logistic 式に決定した(以下、分布中心曲線)。続いて、長濱(2006)、長濱・近藤(2006b)と同様の

方法により、任意の林齢に対する主林木平均樹高の標準偏差 ( $\sigma_{Ht}$ ) の関係式である標準偏差曲線を導いた。

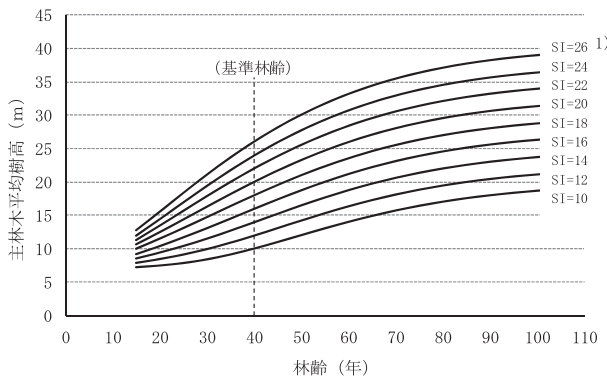
$$\sigma_{Ht} = 3.651 \times \exp(-\exp(1.27706 - 0.06733 \times T))$$

$$R^2 = 0.77861$$

地位区分に関する曲線は、分布中心曲線からの分布範囲を  $2 \times \sigma$  で設定し、その範囲内を 7 等分して地位区分を行い、10 年生から 100 年生まで算出した (第 2 図)。樹高はいずれの地位区分においても 60 年生以降も緩やかに増加していた。また、南雲・箕輪 (1990) にしたがって基準林齢を 40 年とした場合の地位指数曲線について算出した結果、第 3 図が得られた。



第 2 図 地位区分に関する曲線群



第 3 図 地位指数曲線群

1) SIは地位指数 (40年生時の樹高) を示す

### 考 察

密度管理図において ha 当たり幹材積の実測値と、今回の解析による推定値の誤差率の  $\chi^2$  検定の結果、許容誤差率内にあることが示された。また、九州版 (林野庁 1980) の推定式による  $\chi^2$  検定の値においても、有意差は無いものの本研究で得た推定式によるものより値が高かった。したがって、九州版より本研究で求めた密度管理図が本県における林分材積を推定するのに有効である

と考えられる。

本研究による密度管理図では、低密度時の ha 当たり幹材積がこれまで本県で使用されてきた九州版に比べ増加した。このような傾向は、長濱・近藤 (2006b) の報告と一致していた。また、樹高は高齢級林分でも緩やかに成長していることが明らかとなり、既往の報告 (全国林業改良普及協会 2006) と一致していた。したがって、本県における高齢級スギ林の林分材積を九州版で算出した場合、過少に評価されると考えられた。

本研究で得られた林分密度管理図、地位指数曲線を用いて福岡県版のシステム収穫表を作成した (URL: <http://www.pref.fukuoka.lg.jp/contents/sugiyosoku.html>)。このシステムでは、対象とする林分の林齢、主林木平均樹高、ha 当たり本数密度を入力することにより、任意の間伐林齢、間伐率、主伐林齢を設定しても、それぞれの収穫予測が可能である。したがって、作成したシステム収穫表は今後の本県におけるスギ林管理の重要なツールとなると考えられる。

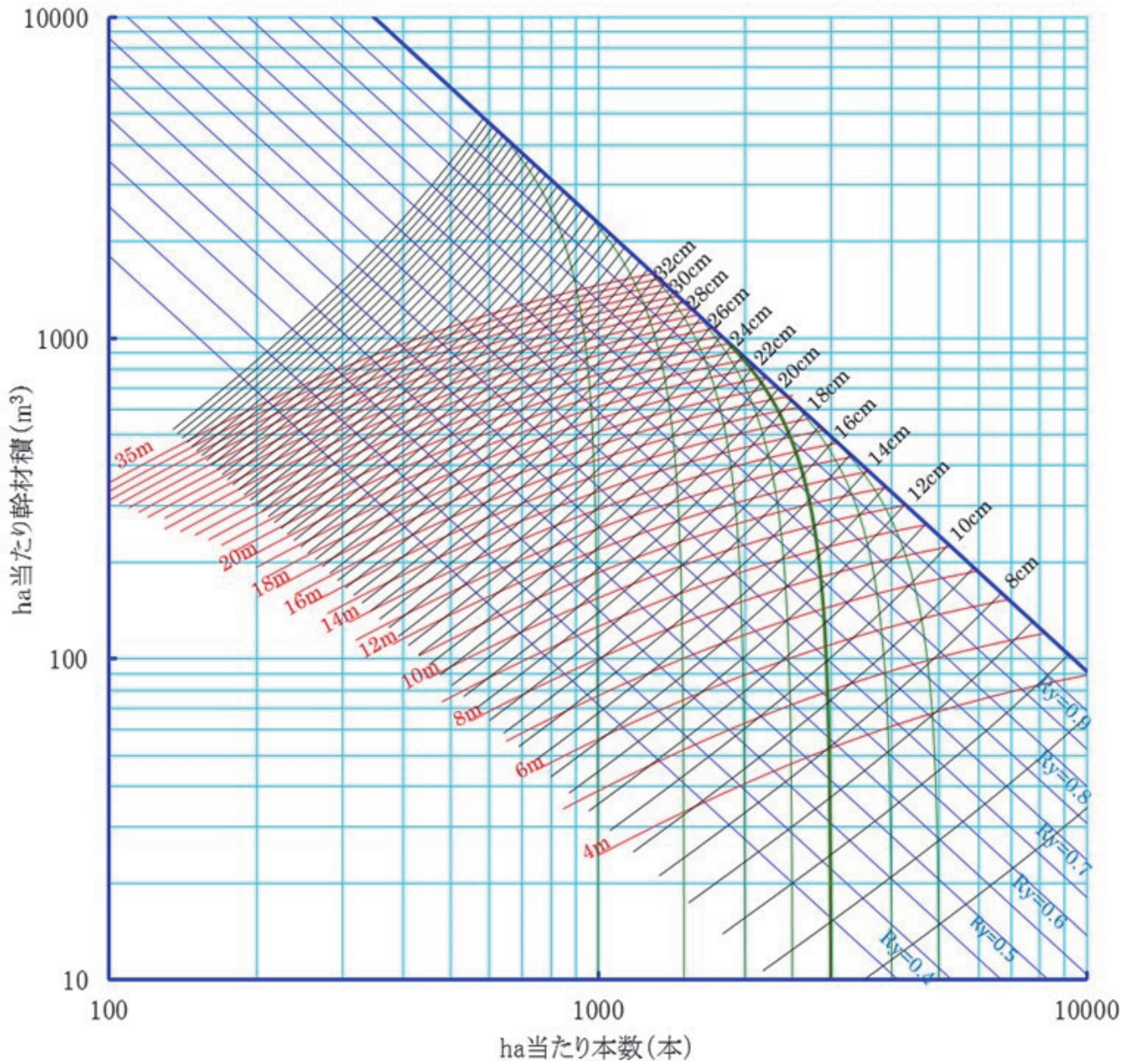
しかし、多様なスギ林分の施業に対応するためには課題もある。まず、本研究では定性間伐を前提とした林分密度管理図を調製した。そのため、林業の収益性改善の一手法として提唱されている選木を行わない列状間伐 (渡邊 2005) には適応できない。本県では列状間伐の実施箇所数は少ないが、今後増加する可能性がある。

また、本県のスギ林業の特徴として、県南部の八女林業を中心としたさし木品種を主体とした林業があげられる。主な品種としてホンスギ、ヤマグチなどがあり、品種によって成長特性が異なることが知られている (樋口 1967)。したがって今後、本研究で得られた結果をより汎用性の高いツールとするためには、多様なスギ林施業に対応した林分密度管理図や地位指数曲線の検討が必要であろう。



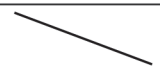

### 引用文献

安藤 貴(1968)同齡単純林の密度管理に関する生態学的研究. 林試研報 210 : 82-86.  
 福岡県農林水産部(2013a)平成 24 年度福岡県林業統計要覧. 福岡県, p. 18-19.  
 福岡県農林水産部(2013b)福岡県森林林業基本計画. 福岡県, p. 1-7.  
 福岡県林務部(1978)昭和 52 年度間伐技術指針. 福岡県, p. 21-35.  
 福岡県水産林務部治山課(1995)福岡県材積表. 福岡県, p. 92-121.  
 樋口真一(1967)八女林業のあゆみとさしすぎ品種 (八女地方) について. 福岡県林試時報 19 : 20-35.  
 稲田充男(1991)林分密度管理図に基づく人工林収穫予測表等の作成. 森林計画学会誌 16 : 71-86.  
 近藤洋史(1998)高齢林分調査データの林分密度管理図への適応. 日林九支研論 51 : 9-10.  
 前田 一(2012)長伐期施業に対応した長崎県ヒノキ人工林管理基準の作成. 長崎農林技セ研報 3 : 53-65.

- 宮島 寛(1989)九州のスギとヒノキ. 九州大学出版会, 福岡, p. 146- 150.
- 長濱孝行(2003)鹿児島県におけるスギ人工林林分密度管理図の調製. 鹿児島県林試研報 8 : 1-11.
- 長濱孝行(2006)長伐期施業に対応した鹿児島県ヒノキ人工林管理基準. 鹿児島県林試研報 9 : 7-25.
- 長濱孝行・近藤洋史(2006a)鹿児島県におけるスギ人工林システム収穫表 SILKS の構築. 森林計画学会誌 40 : 221- 230.
- 長濱孝行・近藤洋史(2006b)長伐期施業に対応した鹿児島県スギ人工林収穫予測. 日林誌 88 : 71-78.
- 南雲秀次郎・箕輪光博(1990)現代林学講義 10 測樹学. 地球社, 東京, p. 1- 243.
- 大隅眞一(1987)森林計測学講義. 養賢堂, 東京, p. 98-101.
- 林野庁(1970)立木幹材積表西日本編, 日本林業調査会, 東京, p. 319.
- 林野庁(1980)九州地方スギ林分密度管理図. スギ人工林分密度管理図説明書(林野庁(編・発行))付図.
- 渡邊定元(2005)新しい間伐法の紹介: 列状間伐と中層間伐. 森林科学 44 : 18-25.
- 山本充男・安井 鈞・秋山郁男(1982)生長曲線の検討. 島根大学農学部研究報告 16 : 48-52.
- 全国林業改良普及協会(2006)長伐期林を解き明かす. 全国林業改良普及協会, 東京, p. 62-64.



(凡例)

	等平均樹高曲線
	等平均直径曲線
	等収量比数曲線
	自然枯死線

付図 福岡県スギ人工林林分密度管理図