

疎植造林による育林施業体系の開発

- スギシステム収穫表による施業モデルの検討 -

令和2年度～令和6年度

森林チーム 松本 純

1. 目的

近年、造林や育林の低コスト・省力化が求められており、本県では低コスト化に向け、従来主流だった植栽密度（2,500～3,000本/ha）を2,000本/ha程度にまで減らすことで造林経費を削減する取り組みを進めてきた。現在は更なる低コスト化に向けて、より低密度の植栽についても検討しているところであるが、2,000本/ha以下の造林（以下、疎植造林と記す）に関しては全国的にも事例が少なく、樹冠閉鎖の遅れによる植栽木及び競合植生への影響について不明な点も多い。本研究では、大分県の収穫予想表（以下、収穫表と記す）を用いて植栽本数の低密度化による影響を推定したので報告する。

2. 調査地及び方法

1) 収穫表を用いた樹冠の推定及び精度の検証

収穫表は、平均樹高と密度から材積を推定する式（1）と、林齢と地位から樹高を推定する式（2）（3）から成る¹⁾。林分密度及び（2）（3）で得られた平均樹高から樹冠幅、樹冠長の推定を試みた。

$$V = \left(0.04986H^{-1.30705} + \frac{2467.3792H^{-2.65424}}{N} \right)^{-1} \quad \dots (1)$$

$$H = 33.3296\{1 - 0.91313\text{EXP}(-0.02695T + 0.10594)\}^{1.09513} \quad \dots (2)$$

$$\sigma H = \frac{3.65906}{1 + \text{EXP}(-0.07624T + 1.38995)} \quad \dots (3)$$

V : haあたり材積、 H : 平均樹高、 σH : 平均樹高の標準偏差、 N : haあたり本数、 T : 林齢

竹下による論文²⁾では林木の成長に応じた林冠の動態について簡易なモデル化を試みており、以下の関係式が示されている。

$$Cr = \alpha Cl^{0.5} \quad \dots (4) \quad \alpha = \sqrt{\frac{C_c Sr H^2}{\pi Cl}} \quad \dots (5) \quad Sr = \frac{10^2}{\sqrt{NH^2}} \quad \dots (6)$$

$$0.375 \leq Sr \text{ のとき} \quad Cl = H \quad \dots (7)$$

$$0 < Sr < 0.375 \text{ のとき} \quad Cl = (2.125 - 3Sr) \left\{ (H + 1) \left(\frac{Sr}{0.375} \right)^{0.7} - 1 \right\} \quad \dots (8)$$

Cr : 樹冠幅、 α : 樹冠拡張係数、 Sr : 相対幹距比、 Cl : 樹冠長、 H : 平均樹高、 N : haあたり本数、 C_c : 林冠被覆率

なお同文献において、 C_c は以下のとおり林分の生育段階（樹高）によって区分されている。

$$H \leq 5.5 \text{ のとき} \quad C_c = 0.8 \left(\frac{H}{5.5} \right)^2 \quad \dots (9)$$

$$5.5 \leq H \leq 7.5 \text{ のとき} \quad C_c = 0.8 + \frac{H - 5.5}{10} \quad \dots (10)$$

$$7.5 \leq H \leq 12.5 \text{ のとき} \quad C_c = 1.0 \quad \dots (11)$$

$$12.5 \leq H \text{ のとき} \quad C_c = 1 - \frac{(H - 12.5)}{100} \quad \dots (12)$$

樹冠の構成要素 (Cl , Cr) の推定について、(2) (3) から得られた平均樹高を式 (5) ~ (12) に、林分密度を式 (6) に代入することで Cl , α , Sr , C_c を得た。 Cl , α を式 (4) に代入して Cr を求めた。

上記により得られた樹冠長、樹冠幅について推定精度の検証を行った。表-1 に精度検証を目的として調査を実施した林分の概要を示す。調査は令和3年9月下旬~12月に大分県内の11林分にて行った。本研究では疎植林分における施業モデルの検討を目的としていることから、主として植栽密度2,000本/ha以下の林分を対象とした。また、No. 6~11はネルダーの系統的配置³⁾による密度試験林分である。調査では樹高、生枝下高、樹冠幅（十字に2方向）を測定し、樹高と生枝下高の差を樹冠長とした。得られた樹冠長及び樹冠幅の平均値を先述の方法で推定した樹冠長、樹冠幅と比較した。

表-1 精度検証を行った林分の概要

No.	所在地	林齢 (年生)	平均 樹高 (m)	地位	植栽 密度 (本/ha)	推定 樹冠長 (m)	実測 樹冠長 (m)	樹冠長 誤差 (m)	推定 樹冠幅 (m)	実測 樹冠幅 (m)	樹冠幅 誤差 (m)
1	別府市	23	13.6	2.15	1600	6.7	5.7	1.0	2.9	2.3	0.6
2	佐伯市	9	8.2	0.56	1500	7.3	7.1	0.2	2.9	2.4	0.5
3	臼杵市	18	7.0	3.81	1000	7.0	6.1	0.9	2.5	2.4	0.1
4	日田市	43	28.5	0.44	1000	6.1	8.3	-2.2	3.4	2.9	0.5
5	日田市	58	27.2	1.67	1200	5.7	8.2	-2.5	3.1	2.9	0.2
6	中津市	14	12.2	0.46	698	10.3	10.3	0.1	4.3	2.7	1.6
7	中津市	14	12.2	0.46	1006	8.6	10.4	-1.7	3.6	2.7	0.9
8	中津市	14	12.2	0.46	1448	7.2	9.0	-1.8	3.0	2.2	0.8
9	中津市	14	12.2	0.46	2086	6.1	7.7	-1.6	2.6	2.0	0.6
10	中津市	14	12.2	0.46	3003	5.2	6.6	-1.5	2.2	1.7	0.5
11	中津市	14	12.2	0.46	4325	4.4	5.6	-1.1	1.9	1.5	0.4

※樹冠長並びに樹冠幅の実測値は林分調査の平均値を示す。

2) 施業モデルの検討

大分県のシステム収穫表⁴⁾と竹下による樹冠推定の関係式²⁾を組み合わせることで、主要な地位・植栽密度における林齢ごとの樹冠長・樹冠幅の動態を推定した。なお、下刈り実施期間（5年生程度まで）は樹冠閉鎖前の段階で光環境は密度によらず良好であり、密度効果は極めて軽微であると考えられることから、植栽密度に応じて下刈り回数変動しないと言われている⁵⁾。このため下刈り終了期間は密度によらず5年間とした。樹冠閉鎖林齢は林冠被覆率が0.8を超えたときの林齢とした。地位2.0、収量比数 $Ry=0.75$ を超えた年に $Ry=0.65$ に間伐する条件で推定した疎植造林（2,000、1,500、1,000本/ha）における樹冠閉鎖時期並びに間伐回数について2,500本/haの場合と比較を行った。

3. 結果及び考察

1) 収穫表を用いた樹冠の推定及び精度の検証

調査結果を表-1に示す。推定した樹冠長と実測値を比較した結果、No. 4, 5を除き誤差は2m以内に収まっていた。一般的に樹高が高くなるほどバラツキも大きくなるため、No. 4, 5の誤差が高かった要因として、他の林分と比べて高齢で平均樹高が高いことが考えられた。

推定した樹冠幅と実測値を比較した結果、誤差は概ね0.5m程度だったが、全体的に過大傾向にあり、特にNo. 6～8で誤差が大きかった。その原因として、①密度試験林分（No. 6-11）では円形プロットの接線方向と放射方向に測定したため長辺を取ってない可能性があること、②No. 6～8は枯れ上がりの発生直後であり、上側に位置する短い生枝で樹冠幅を測定したこと、③当該林分が樹形が細めのオビスギ林分であるため品種による影響が発生したことが考えられた。また、樹冠幅の推定値に影響を及ぼす変数である林冠被覆率は最大1.0を取ることにしているが、今回調査林分全てにおいて推定値が過大だったことは、樹冠閉鎖段階において林冠被覆率が1.0に届かないことを示唆するため、条件設定について検討の余地がある。

今回の推定における誤差は樹冠長は樹冠が閉鎖する若齢林分では2m未満、樹冠幅はほとんどの林分で0.5m程度と一定の精度が認められたが、利用したモデル式の性質上、間伐直後の樹冠の動態について推定することができない。更なる精度の向上のためには、他のモデル式との比較検討や今回使用した数式の改良についても検討する必要がある。

2) 施業モデルの検討

大分県のシステム収穫表に樹冠に係る要素の関係式を組込むことで、間伐時期に加えて林齢別の樹冠幅から樹冠閉鎖の時期を推定可能となったため施業モデルを作成した。

作成した施業モデルの一例を図-1に示す。樹冠閉鎖は除伐・つる伐りを終了する目安の一つであるが、2,500本/haでは下刈り終了から4年で樹冠が閉鎖する一方、2,000本/haでは5年、1,500本/haでは7年、1,000本/haでは11年を要し、樹冠閉鎖の時期は2,500本/haと比較して2,000、1,500、1,000本/haではそれぞれ1年、3年、7年遅れると推定された。下刈りや除伐の終了時期は下層植生のタイプ等の条件によっても異なる^{6) 7)}が、植栽密度を低くすると樹冠閉鎖の時期が遅れるため除伐回数が増える可能性がある。また、樹冠閉鎖が遅れると枝の枯れ上がりが遅れるため、節が残りやすくなると考えられる。強度については1,000本/haまでは大きな問題がないという報告がある⁸⁾ものの、材の見た目に影響を及ぼす可能性がある。

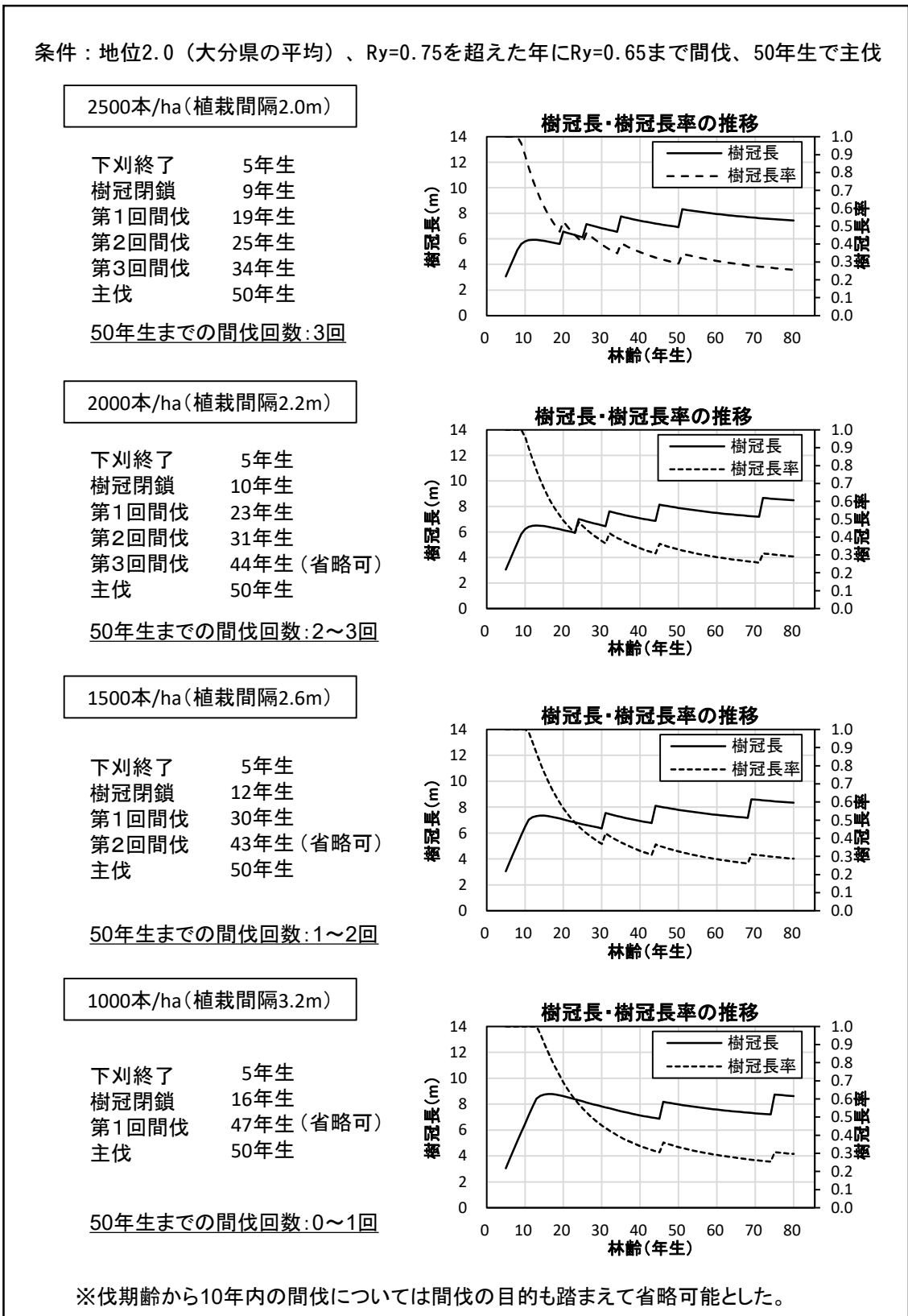


図-1 疎植造林施業モデルの一例

一方、間伐回数については、50年で主伐を行う場合、2,500本/haでは3回必要だが、2,000本/haでは2～3回、1,500本/haでは1～2回、1,000本/haでは0～1回となり低密度ほど間伐コストの削減が見込まれた。疎植では植栽密度を下げるほど間伐コストを大きく削減することができる一方で、除伐・つる切りや枝打ちが増える可能性があるため、材の利用目的を検討しながら植栽密度並びに必要な施業を選択する必要がある。

4. まとめ

今回、疎植造林における施業モデルの作成を目的として、既存のシステム収穫表に樹冠のモデル式を組み込むことで、材積成長や間伐時期に加えて樹冠の動態を予測することができるようになった。今回の施業モデルでは、説明上一例を紹介する形としたが、システム収穫表内で動かしているため、地位及び間伐する収量比数などについて容易に条件変更を行うことができる。また、樹冠長率の推移を予測することも可能で(図-4)、樹冠長率が判断の目安となっている長伐期施業への移行や災害に強い森林づくり等の検討材料としての活用も見込まれる。今後は精度の向上に向けた検証及び修正を行っていききたい。

謝辞

表-1 No. 6～11の調査にあたり、(国研)森林総合研究所九州支所山川博美主任研究員にご協力いただきました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 松本純ほか：大分県収穫表改訂調査報告書, 大分県 HP (平成 31 年)
- 2) 竹下敬司：パラボラ樹冠形モデルによるスギ林の構造解析, 九州大学農学部演習林報告, 55, 55～104 (昭和 60 年)
- 3) Nelder J.A. : New kind of systematic designs for spacing experiments. *Biometrics* Vol. 18, 283-324 (昭和 37 年)
- 4) 松本純：大分県簡易収穫表等の見直しについて, 大分県 HP (平成 31 年)
- 5) 林野庁：スギ・ヒノキ・カラマツにおける低密度植栽のための技術指針 (令和 2 年)
- 6) 山川博美ほか：スギ植栽木の樹高成長に及ぼす期首サイズと周辺雑草木の影響, 日本森林学会誌 Vol. 98, 241-246 (平成 28 年)
- 7) 鶴崎幸ほか：競合植生によって異なるスギ造林地の下刈り要否の判断基準, 日本森林学会誌 Vol. 102, 225-231 (令和 2 年)
- 8) 近畿中国森林管理局・広島森林管理署：低密度植栽で造成されたスギ・ヒノキの標準伐期齢を超えた林分の林分構造及び材質(幹形・強度)調査結果について, 国有林野事業業務研究発表会 (平成 28 年)