

早成樹種の成長量を最大にする造林方法

(2) 密度と栽培期間

齊藤昌宏*¹・平松直樹*¹・河原崎里子*²・相川真一*²・宇都木玄*²・田内裕之*²

1. はじめに

前報において、年平均気温と年降水量を両軸としたグラフに年平均成長量を示す方法によって *Eucalyptus globulus* の植栽適地を明らかにした。また、*Pinus radiata* と *P. pinaster* の植林データを収集し、同様の方法によって年平均成長量が最大となる植栽密度と栽培期間の範囲を示した。本稿では、植林方法と年平均成長量のデータがセットとして多く収集できたユーカリ属3種について報告する。

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構によるバイオマスエネルギー先導技術研究開発に採択された「荒漠地における持続可能型バイオマスエネルギー資源創出技術の研究開発」(平成17～18年)の成果の一部である。

2. 調査対象とした資料および解析方法

前報¹⁾と同様に、早成樹植林地の成長データを収集する資料として次の文献を利用した。①“*Tecnologia de la Forestacion en Argentina y America Latina*”²⁾、②「産業植林CO₂固定化評価等に関する調査研究報告書」^{3,4)}、③「熱帯林の成長データ集録」^{5,6)}である。これらの文献より、栽培期間と植栽密度および成長量の値が揃っているデータを収集し解析に用いた。成長量の記載には2方法があり、植栽後一定期間を経過した後の1年間の成長量を示

している場合(連年成長量)と植栽時から一定期間経過後の総成長量を示している場合(〔平均成長量=期間内の総成長量を年数で除した年成長量〕を示した例を含む)がある。ここでは、栽培期間内で最も大きな成長量を求めることから後者のデータを採用し、栽培期間中の年平均成長量(m³/ha/yr)を指標として密度(N/ha)と栽培期間(年)の関係を求めることとした。また、同じ地域で複数の植林結果が示されている場合には、年平均成長量が高いデータを採用した。植栽密度、栽培期間が同じであっても地位が異なると年平均成長量は異なるが、この場合も地位が高く年平均成長量が高い植林例を採用し、解析資料とした。

資料の解析には統計ソフト(JUMP Ver.5.1, SAS Institute Japan)を用い、栽培期間(年)を横軸とし、収穫時の密度(N/ha)を縦軸としたグラフの上に年平均成長量の等値線を描くことにより、最大の成長量を示す栽培期間と植栽密度の範囲を明らかにした。

3. 結果と考察

1) 熱帯荒漠地に植栽される *Eucalyptus camaldulensis*

E. camaldulensis の年平均成長量と密度、栽培期間の関係を図1～3に示す。図1は南米で得られたデータであり、サンプル数は14となっている。この

Masahiro Saito, Naoki Hiramatsu, Satoko Kawarasaki, Shin-ichi Aikawa, Hajime Utsugi and Hiroyuki Tanouchi: Plantation Methods for Maximizing the Mean Annual Increment of Fast-Growing Trees (2) Tree Density and Silvicultural Period

*¹ 三重大学生物資源学部, *² (独)森林総合研究所

等値線図で明らかなように、本種の成長量は非常に大きく、年平均成長量は $40 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ を示す。しかし、年平均成長量が最大となる範囲は狭く、植栽密度が $1,700 \sim 2,100$ 本/ha、栽培期間は $9 \sim 11$ 年間となっている。

一方、図2は南米を除く熱帯各地域に植栽された場合の等値線である。サンプル数は13であり、等値線図は大きく異なっている。南米以外の地域で植栽した場合は植栽密度を $3,000$ 本/ha 以上とし、 $5 \sim 7$ 年間栽培するとき年平均成長量が最大となり、その値は $15 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ と低い。僅か13サンプルで描いた等値線であるため、これらがすべての場所での年平均成長量を示しているわけではないが、一般的に熱帯地域で本種を植栽する目的は、荒廃地の緑化にあるため成長量が小さいのであろう。荒廃地のように土壌が浅く、貧栄養の場所に植えられた場合、早成樹種であっても成長は遅くなる。また、短期間で緑化の効果を得るため高密度に植栽し、過密になっても間伐などの手入れを行わない例が多い。石塚⁷⁾によれば、タイにおけるパルプ目的の植林では5年は短すぎ、12年目に $1,000$ 本/ha 強の密度でその年の成長量が $15 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ 、それまでの材蓄積が $220 \text{ m}^3/\text{ha}$ 程度という結果が紹介されている。年平均成長量は $18 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ となる。しかし、立地条件によっては $2 \sim 11 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ という成長量も報告されていることも触れられている。Mead⁸⁾は *E. camaldulensis* の年平均成長量について、熱帯乾燥地では $10 \sim 20$ 年生の植林地で $5 \sim 10 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ 、より湿潤な地域では $30 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ に達すると述べている。

両地域のサンプルを併せ27のデータで年平均成長量の等値線図を描いた結果が図3である。データが示す範囲は図1と図2を併せた形になるが、最大年平均成長量を示す範囲は図1と変わらない。すなわち、植栽密度を $1,700 \sim 2,100$ 本/ha とし、栽培期間を $9 \sim 11$ 年とすれば年平均成長量は最大となり $45 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ を示す。ただし、最大年平均成長量を示す範囲は非常に狭い。図1では $40 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ であった最大年平均成長量が図3では $45 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$

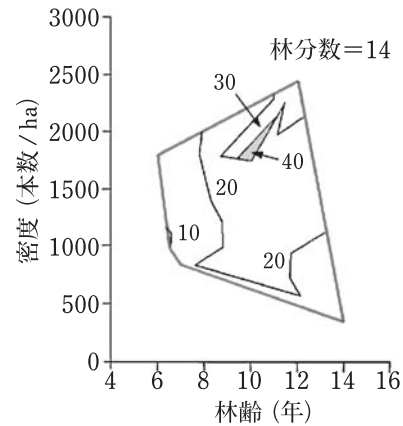


図1 *E. camaldulensis* の成長量と密度、林齢の関係 (南米)

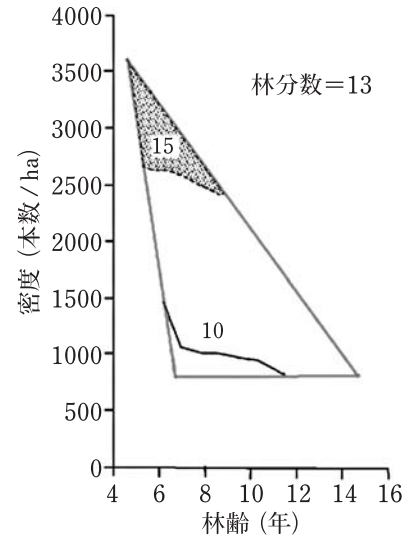


図2 *E. camaldulensis* の成長量と密度、林齢の関係 (南米以外)

に増加したのは単に統計的な処理の結果だが、図3で最大値を示す範囲およびその周辺の造林方法を適用すれば、 $40 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ 程度の大きな年平均成長量を得る可能性が高いと推察される。熱帯に植林される *E. camaldulensis* の最大年平均成長量が、次に述べる *E. grandis* よりやや劣り *E. globulus* と同程度であるのは、それだけ過酷な条件の場所に植栽されていること、産業造林に利用されている樹種と異

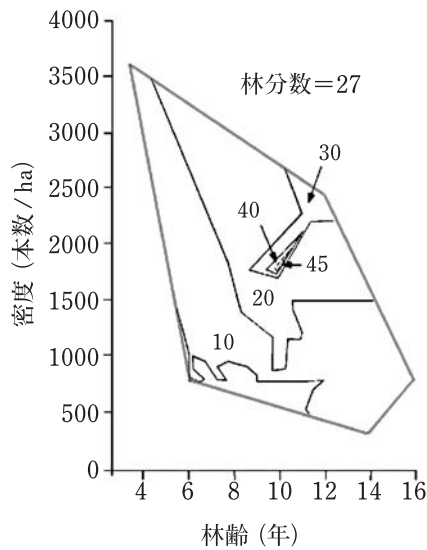


図 3 *E. camaldulensis* の成長量と密度, 林齢の関係 (世界各地)

なり, あまり品種改良が行われていないことが大きな理由であろう。

2) 亜熱帯地域において産業造林樹種として利用される *Eucalyptus grandis*

南米で植栽された *E. grandis* の成長量データ 11 例の等値線図を図 4 に示す。植栽密度を 900~1,150 本/ha とし, 13~16 年間栽培するとき年平均成長量が最大となり, その値は $55 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ と非常に大きい。植栽密度に広がりがないのは植林方法が確立されており, 最も効率的な植栽密度などの植林技術が普及しているためであろう⁸⁾。植栽期間についても同様に 17 年間以上のデータは見あたらなかった。

ブラジルなどでは植栽後 7~8 年で伐採・収穫し, その後に発生する萌芽を育て, 7~8 年後に再度伐採し, さらに萌芽を育てて収穫する方式が一般的である。しかし, ここで利用したデータは萌芽による再生林のものは除外し, 植栽後 1 回目の収穫で得られたデータだけを利用している。1 回伐採し再植栽するのであれば, 13~16 年間栽培して $55 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ の成長量を得る方法が最も効果的であるが, 萌芽を利用するので, 植栽に必要な手間と経費を大幅に削減できること, また萌芽の方が初期成長は早いた

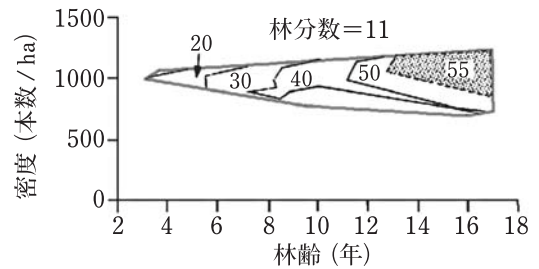


図 4 *E. grandis* の成長量と密度, 林齢の関係 (南米)

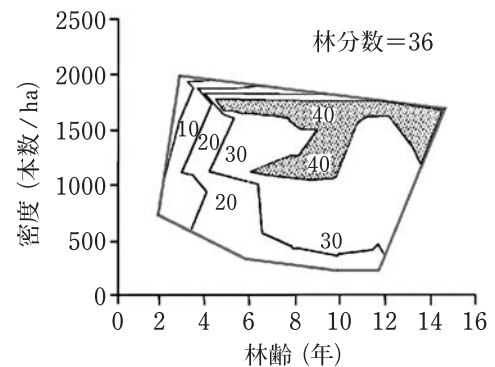


図 5 *E. grandis* の成長量と密度, 林齢の関係 (南米以外)

め, 次の収穫を行う時期が早いこともあり, 総合的に判断されて, 萌芽更新を利用した植林システムが採用されているのであろう。

南米以外の各地の等値線図を図 5 に示した。年平均成長量の最大値は $40 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ であり, 最大値を示す範囲は植栽密度が 1,100~1,800 本/ha, 栽培期間は 4~14 年間と幅が広がる。利用したサンプルは 36 である。*E. grandis* は南米以外の地域でも産業造林として使用されるが, 南米ほどには平均年成長量が大きい値を示さなかった。産業造林とは言え, 南米ほど気候条件・土地条件の良いところに植栽されていないこと, 熱帯地域に適合する品種が開発されていないこと, それぞれの土地・地域に適した育林技術が確立されていないことなどが理由として挙げられる。Mead⁸⁾によれば, ウガンダにおいて植林された *E. grandis* で年平均成長量が 17~45

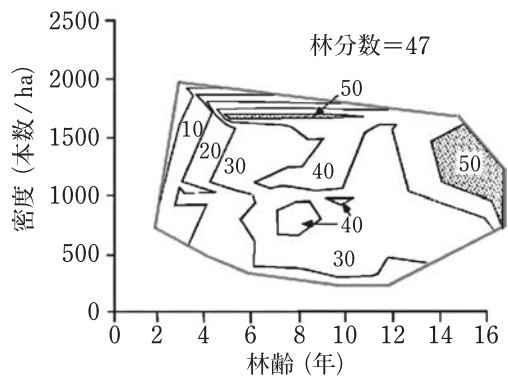


図 6 *E. grandis* の成長量と密度，林齢の関係 (世界各地)

$\text{m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ の報告がある。また，コスタリカで行われた植栽密度と施肥の実験を目的とした植林で，年平均成長量が $49\sim 112 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ に達したという報告が紹介されている。驚異的な成長量であるが，気候条件の良い場所で，小面積の範囲で土壌条件，造林方法を最適に整備すれば，このように大きな成長量を示す一例であろう。

南米およびその他の地域を併せた 47 のサンプルを用いて，等値線図を描き図 6 に示した。植栽密度が $750\sim 1,600$ 本/ha，栽培期間が 13～17 年で $50 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ 以上の最大成長量を示す。*E. camaldulensis* のときと同様に，データの範囲と年平均成長量が小さい部分では南米以外の地域と類似し，成長量の大きい部分では南米の図と類似する。

3) 温帯地域において産業造林樹種として利用される *Eucalyptus globulus*

南米各地で植栽された *E. globulus* の植栽例 11 サンプルを用いて年平均成長量の等値線図を描き，図 7 に示した。植栽密度が $500\sim 1,400$ 本/ha，栽培期間が 13～16 年で $45 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ の最大成長量を示す。*E. grandis* よりはやや劣るが，*E. camaldulensis* よりは大きい値となる。また，幅広い植栽密度で最大年平均成長量を示すとともに，かなり低密度の植栽を行っても最大年平均成長量に達することも本種の特徴であろう。

南米以外の各地で植栽された例のうち植栽密度，

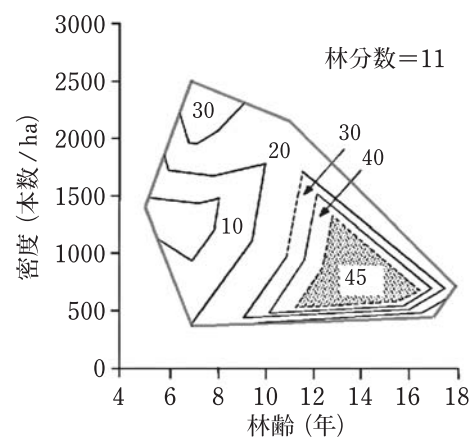


図 7 *E. globulus* の成長量と密度，林齢の関係 (南米)

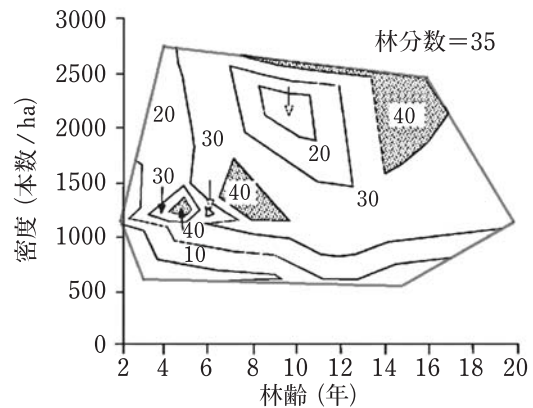


図 8 *E. globulus* の成長量と密度，林齢の関係 (南米以外)

栽培期間，年平均成長量のデータが揃っている 35 サンプルについて，同様に年平均成長量の等値線図を描くと図 8 のようになった。年平均成長量の最大値は $40 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ とやや下がり，ピークは 3 つの山となった。最も左に位置するピークは栽培密度が $1,200\sim 1,300$ 本/ha，栽培期間が 4～5 年で最大成長量を示している。中ほどにあるピークは同様に密度 $1,200\sim 1,700$ 本/ha，栽培期間が 6～10 年で最大成長量を示す。最も右に位置するピークは範囲が広く，高密度，長期栽培に偏っている。すなわち栽培密度 $1,500\sim 2,500$ 本，栽培期間 13～17 年で $40 \text{ m}^3/$

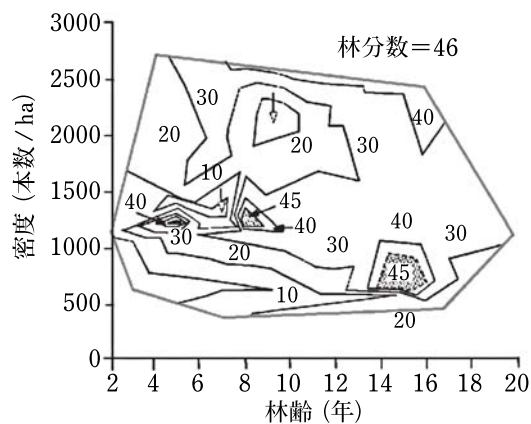


図9 *E. globulus* の成長量と密度、林齢の関係 (世界各地)

ha/yr の最大年平均成長量を達成している。Mead⁸⁾ は、*E. globulus* の原産地であるオーストラリアのタスマニアでは収穫期17年間のローテーションで年平均成長量 $35 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ 、西オーストラリア南部では10年のローテーションでパルプ材の生産を行っている。また、エチオピアでは栽培期間は不明だが $30 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ の年平均成長量を示した報告を紹介している。

これら3つのピークの間には年平均成長量の値が小さくなる範囲があることから、*E. globulus* は広い地域に植栽され、土地条件、栽培技術などに優れた3つの地域が年平均成長量が最大となる3つのピークとして現れたものであろう。図中の右に位置している2つの小さなピークと、左に位置する大きなピークは植栽密度、栽培期間などが大きく異なっていることから、栽培システム(育林技術体系)もかなり異なっていることが推測される。

世界各地の46サンプルを用いて、等値線図を描くと図9の如くとなった。南米でのピークである年平均成長量 $45 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ のピークは変わらないが、南米以外の栽培地のピークでも年平均成長量 $45 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ に達する可能性があり、ピークは3つになった。これはあくまで統計上の処理でピークが増加したわけであるが、これらの育林技術の範囲内であっても土地条件、技術の向上によって最大年平均

成長量を増大させる可能性があると考えてよからう。

4. 結論

世界各地で植栽されている早成樹かつ産業植林樹種のうち、データが多く集められたマツ2種、ユーカリ3種について、植栽密度と栽培期間の組み合わせで最も大きな成長量を示す範囲を統計的に等値線図を描く方法で求めた。この結果、南米とそれ以外の地域では栽培方法が異なっていることが示唆された。南米の場合はほとんどが企業による産業造林で得られたデータであること、収集した文献の性格から、主として成長量の大きい植林地のデータが多数収集されていることがこのような結果となったのであろう。逆に、南米以外の地域にはオーストラリア、アフリカ、東南アジアなどで栽培された結果が収録されており、植栽目的が荒廃地緑化である例、産業植林であっても農民が主体で行っている例などさまざまであった。土地条件の幅が広いこと、育林技術についてもまだ最適なシステムが確立されていなかったり、それが普及していなかったりして、レベルが多様であった可能性が高い。このため、南米でのデータを用いると裾野が狭く、標高が高いピークとなり、世界各地のデータを使うと裾野が広く、標高がやや低いピークとなってしまふのであろう。

現在の育林技術ではこのように複雑な等値線図となるが、適切な施肥、土壌改良、灌水などによって土地条件を改善し、さらにその土地に合った適合品種の開発、育林技術の向上を併せ行えば、ピーク(最大年平均成長量)を示す範囲はさらに広がるであろう。一方、ピークの値を更に大きくすることはかなり困難なことと考えられる。今回集め得たデータはそれほど多くないが、最大年平均成長量の値は非常に大きい。土地条件の良い場所で優れた育林技術を用いて栽培した結果が最大年平均成長量として現れているため、この値をさらに増大させるには、革新的な技術を加える必要がある。これに対し、土壌条件の改善、育林技術の向上など裾野を広げる営みは各地で行われており、今後もコスト/パフォー

マンスという制約はあっても、努力は続けられるであろう。

〔引用文献〕 1) 齊藤昌宏ほか(2007)早成樹種の成長量を最大にする造林方法(1)適地適木, 熱帯林業(投稿中) 2) Cozzo, D. (1976) Tecnologia de la Forestacion en Argentina y America Latina, Editorial Himisferio Sur. 3) 海外産業植林センター(1999)産業植林CO₂固定化評価等に関する調査研究報告書, 平成10年度. 4) 海外産業植林センター(2000)産業植林

CO₂固定化評価等に関する調査研究報告書, 平成11年度. 5) 西川匡英・高橋文敏・白石則彦・増田義昭(2004)熱帯林の成長データ集録(その1), 国際緑化推進センター. 6) 西川匡英・高橋文敏・白石則彦・増田義昭(2004)熱帯林の成長データ集録(その2), 国際緑化推進センター. 7) 石塚和裕(1996)カマルドゥレンシスユーカリ, 森徳典ほか編, 熱帯樹種の造林特性 第1巻:200-208. 8) Mead D.J. (2001) Mean annual volume increment of selected industrial forest plantation species. FAO-Forestry Department

図書紹介

森林の再発見



—生物資源から考える21世紀の農学第4巻—, 太田誠一編, 京都大学学術出版会, 401頁, 2007年11月, 本体4,200円

京都大学の農学研究分野を中心とした新しい農学—生物資源—の活用と方向性を探るシリーズ全7巻中の第4巻として, 森林科学を取り巻く諸問題について生態学を中心とした視点から解説した1冊である。編者はJ. ラブロックの言葉「地球は地球上の生命の維持・永続にとって好ましい物理的, 化学的環境を獲得し, それを恒常的に維持するための自己調節機能を備えた巨大で複雑な一個の生命システムであり, ……」を引用しつつ, そのシステムの完成の中で, 中核的な役割を果たしてきた森林の機能の見直しと持続的利用の大切さ説いている。これは地球生態系を長い歴史を通じて共に形成してきた, 人と

野生生物との共存共栄を模索する道でもある。

このような視点から森林を取り巻く広範な問題を以下の各分野の専門家が解説している。1章:資源管理から見た森林の新たな価値(菊沢喜八郎), 2章:森林生態系における土壌動物群集(武田博清), 3章:森林土壌を腐植から科学する(大田誠一), 4章:水の循環における森林の役割(谷 誠), 5章:良質の水の源としての森林(大手信人), 6章:森林の防災機能(水山高久, 里深好文, 小杉賢一郎), 7章:森林の多様性と動態を読み解く(神崎 護), 8章:人間と野生動物との新たな関係(高柳 敦), 9章:京の風景(森本幸裕), 10章:バイオマスの新たな機能探求(西尾嘉之, 寺本好邦)。

バイオテクノロジーや分子生物学などの生物資源を改変して利用する方向でなく, 筆者等は生物が長い進化の過程を経て獲得してきた能力やそれらが共生する自然環境を見直し, 再利用すること, 言い換えれば, リサイクル可能な, 持続的利用ができる森林生態系を現代科学の目で見直して, 新たな活用と保全を訴えている。

海外林業に関心の深い読者にとっては, 本書は主に日本の森林を舞台とした事象の解説のために, やや縁遠いものを感じるかもしれないが, 環境に対する基礎概念は, 国内外を問わず同じであり, 森林科学に関する最新の知識を深める上には格好の図書といえる。また海外緑化のNGO活動を志す文系の若者にとっては, 最新の森林科学を学ぶのにこの上ない参考図書でもある。(森 徳典)