

短伐期施業産業植林地の地上部現存量と 収穫による養分持ち出し

山田麻木乃*1・藤間 剛*2・平塚基志*3・森川 靖*3

要 約

短伐期施業産業植林地の炭素固定能力、収穫による養分持ち出し量を把握するため、11カ国21植林地40試験地の地上部現存量（バイオマス）、年平均炭素固定量（成長量）、器官別養分含有量をまとめた。伐期齢に近い植林地の地上部地上部現存量と年平均炭素固定量の範囲はそれぞれ $44 \sim 324 \text{ ton ha}^{-1}$ 、 $3.1 \sim 22.9 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ であった。短伐期施業で管理されている植林地は炭素を速く蓄積することが期待されている。しかしながら、地上部現存量は植林地の立地環境によって大きく異なる。さらに集約的に繰り返される収穫により養分が持ち出され、生産力の低下を引き起こすことが懸念される。養分持ち出し量を定量化すること、また養分持ち出し量を最低限に抑えることは、生産力の低下を防止し産業植林の持続的な管理に貢献する。短伐期施業産業植林地では、伐採搬出後の枝・葉・樹皮・樹幹先端部（残渣）の林地内への留置、および施肥などを通じたきめ細かい土壌養分管理が、高い生産力を維持するためには必要である。

はじめに

2000年の世界の植林地面積は1億8千5百万haで全森林面積の5%を占める。世界の工業丸太消費量は年々増加し、2000年には15億8千万 m^3 に達している（FAO 2003）。パルプ材生産目的短伐期施業産業植林地は、紙パルプ産業への高品質なウッドチップの安定的な供給を確保するために急激に増加している。日本の紙パルプ業界は紙需要の増加に対処するため、植林と古紙リサイクル

Makino Yamada, Takeshi Toma, Motoshi Hiratsuka, Yasushi Morikawa :
Biomass and Nutrient Removal by Harvesting in Short-rotation Plantations

*1(社)海外産業植林センター、*2CIFOR、*3早稲田大学人間科学部

ルを推進している。その植林活動は日本国内だけにとどまらず、1990年代以降海外にも拡大してきた。2003年には南半球を中心に約32万haの海外産業植林地を経営している。日本の紙パルプ業界による植林活動は「自ら消費する木は自ら植える」という理念に基づいている。

一定の基準を満たした新規植林・再植林活動の炭素吸収源（カーボンシンク）としての役割は、京都議定書のCDM（クリーン開発メカニズム）に組み込まれ、いくつかの国ではCDMに関連して植林への興味が高まっている。地上部現存量に関する情報は、産業植林による炭素蓄積量の目安としてCDM植林事業の計画、管理、実行にとって重要である。海外産業植林センター（JOPP）と国際緑化推進センター（JIFPRO）は、オーストラリア、東南アジア、南米、南アフリカにある日本企業の産業植林地の地上部現存量の調査を行ってきた（JIFPRO 2002, JOPP 1999, 2000, Morikawa *et al.* 2002）。

日本企業が海外で経営している産業植林地の多くは、まもなく1期目（ローテーション）の収穫期を迎え、2期目の植栽に入ろうとしている。産業植林では、短期間で繰り返される収穫により植林地から多量の養分が持ち出され、養分が枯渇することによって植林地の生産力が低下する可能性があるので土地生産力を維持することが必要であると考えられている。そのため、植林地の養分管理は重要な研究課題の一つである。

この研究の目的は、短伐期施業産業植林で植栽されている主な早成樹種であるユーカリ、アカシア植林地の地上部現存量、年平均炭素固定量、養分含有量について把握することである。JOPP、JIFPROが蓄積した情報と（JIFPRO 2002, JOPP 1999, 2000, Morikawa *et al.* 2002）とCIFORのSite Management Network（Nambiar *et al.* 1999 ; 2000）で蓄積されてきた11カ国、21植林地、40試験地（Appendix 1参照）の地上部現存量および器官別養分含有量を整理した。

地上部現存量と年平均炭素固定量

11カ国40植林地におけるリターを除いた地上部現存量（Above Ground Biomass : AGB）と年平均炭素固定量（Mean Annual Increment of Carbon : MAIC）をAppendix 2に示す。31の産業植林地のAGBとMAICの範囲はそれぞれ、34～324 ton ha^{-1} 、2.4～22.9 $\text{ton C ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$ であった。*A. auriculiformis*, *A. mangium*, *E. globulus*, *E. grandis*, *E. nitens*のAGBとMAICの範囲を表1に示す。最も高いMAIC（22.9 $\text{ton C ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$ ）を示したのはブラ

表 1 パルプ用に植林される主な 5 樹種のリターを除く地上部バイオマス (AGB) と年平均炭素固定量 (MAIC) の範囲

樹種	林齢 (年)	AGB (ton ha ⁻¹)	MAIC (tonC ha ⁻¹ year ⁻¹)
<i>A. auriculiform</i>	6- 7	96-136	8.0- 9.7
<i>A. mangium</i>	6- 9	109-190	7.8-10.5
<i>E. globulus</i>	6- 8	69-275	5.7-17.2
<i>E. grandis</i>	7-12	44-324	3.1-22.9
<i>E. nitens</i>	7-11	122-195	8.4- 8.7

ジル Sao Miguel の 7 年生の *E. grandis* 植林地であった (Bellote *et al.* 2001)。この値は同林齢の他の *E. grandis* 植林地の MAIC (3~10 ton C ha⁻¹ yr⁻¹; Yamada *et al.* 2000 b, Gonçalves *et al.* 1999, Sankaran 1999, Sankaran *et al.* 2000, du Toit *et al.* 2000) の 2 倍以上であった。Sao Miguel の植林地の AGB は 321 ton ha⁻¹ であり、同じ地域内であっても他のサイトでは到達できそうもない値である。*E. globulus* 植林地のなかでは、16 ton C ha⁻¹ yr⁻¹ を越える、最も高い MAIC が西オーストラリア Manjimup で記録されている (O'Connell and Grove 1999, Yamada *et al.* 1999)。*E. globulus* 植林地のなかで最も小さい値は、同じく西オーストラリアの Albany で 6 ton C ha⁻¹ yr⁻¹ であった (JOPP 1999)。東南アジア地域のアカシア植林地では MAIC の範囲は 7.8~10.5 10 ton C ha⁻¹ yr⁻¹ と比較的小さかった (Yamada *et al.* 2000 c, JOPP 1999, 2002, JIFPRO 2002, Sabar *et al.* 1999, Hardiyanto *et al.* 2000 and Morikawa *et al.* 2002)。

中国福建省の *Cunninghamia lanceolata* 植林地 (Shaohui *et al.* 2000)、広東省の *E. urophylla* 植林地 (Xu *et al.* 1999)、オーストラリア・クイーンズランド *Pinus. elliotii* 植林地 (Simpson *et al.* 1999) の MAIC は 5 ton C ha⁻¹ yr⁻¹ よりも小さかった。福建省とクイーンズランドの植林地は、MAIC は小さいが伐期が長いので AGB が高くなっていた (約 200 ton ha⁻¹)。

産業植林では速く地上部現存量を蓄積するように管理されている。地上部現存量、つまり炭素プールの大きさは、同じ樹種であってもサイトごとに異なることが確認されており、立地環境条件がその生産力を決定する重要な要因であることをしめしている。

地上部現存量中の養分分布と収穫による養分の持ち出し

24 試験地で測定された器官別養分蓄積量を Appendix 3 に示す。伐期齢に近い *A. mangium*, *E. globulus*, *E. grandis* の幹と皮に含まれる地上部地上部現存量 (AGB) と養分分布 (N, P, K, Ca) を表 2 に示す (Goncalves *et al.* 1999, O'Connell and Grove 1999, Yamada *et al.* 1999, 2000 a, 2000 b, Hadiyanto *et al.* 2002, Sabar *et al.* 1999, JOPP 2000)。

産業植林施業では、収穫時樹皮がついたままの幹を植林地から持ち出すことが、一般的である。幹現存量は地上部現存量の 62~89% を占めるが、幹に含まれる養分量の地上部養分量に対する割合は小さかった。一方、樹皮現存量は地上部現存量の約 10% にすぎないが、養分含有率が高いため、樹皮に含まれる養分量は大きかった。表 2 に示した 3 樹種では、樹皮に含まれる Ca が地上部現存量全体に含まれる Ca の 40~57% に達した。これは、伐採搬出時に樹皮を植林地に残すことが短伐期施業植林地の養分保全に効果的であり、持続的生産を

表 2 伐期齢に近い *A. mangium*, *E. globulus*, *E. grandis* 短伐期植林地における養分分布

樹種 国 (測点)		<i>A. mangium</i>			<i>E. globulus</i>			<i>E. grandis</i>	
		PNG (4)	Indo- nesia (6)	Indo- nesia (7)	Chile (12)	Aust- ralia (13)	Aust- ralia (14)	Brazil (17)	South Africa (21)
AGB (ton ha ⁻¹)	Bark	8.0	14.2	12.9	13.1	26.9	24.0	8.9	12.8
	Stem	84.5	124.7	105.1	104.1	186.9	170.0	125.1	107.4
	AGB	109.2	189.5	145.4	148.1	256.9	275.0	140.3	133.8
N (ton ha ⁻¹)	Bark	95.0	139.0	41.4	37.1	51.1	45.0	35.7	42.6
	Stem	187.0	236.0	161.9	74.9	114.0	95.0	223.9	77.3
	AGB	452.0	661.0	290.2	466.5	465.8	521.0	332.4	249.2
P (kg ha ⁻¹)	Bark	2.1	1.5	7.6	5.4	3.4	5.8	11.8	6.3
	Stem	7.4	7.8	38.9	23.5	49.0	22.2	18.8	4.1
	AGB	19.2	14.3	58.4	52.4	68.7	55.9	38.2	17.8
K (kg ha ⁻¹)	Bark	19.9	35.6	23.9	50.7	50.6	n/a	47.4	52.9
	Stem	49.1	37.4	216.6	129.0	104.7	n/a	106.3	81.6
	AGB	133.3	191.2	288.4	339.3	309.5	n/a	182.7	189.0
Ca (kg h ⁻¹)	Bark	65.2	163.7	n/a	234.7	582.9	423.0	95.0	101.0
	Stem	54.0	103.5	n/a	72.0	214.9	104.0	110.1	80.8
	AGB	189.0	415.8	n/a	505.6	1,167.5	1,211.0	247.8	248.1

AGB: 地上部バイオマス, n/a: 欠測

助けることを示唆している。林地に残された有機物が無機化することで供給される養分は土壤中に移動し、再度根から吸収されると期待される。ただし、特に N などの無機化がおりやすい養分の場合、植林地外への養分流亡が起こる可能性もある。

枝、葉、樹皮などを植林地に残し、幹だけを収穫・搬出する場合にも、養分の持ち出しは起こる。ユーカリおよびアカシア植林地において、幹だけを収穫・搬出した場合の養分の持ち出し量は、窒素：75～236 kg N ha⁻¹、リン：4～49 kg P ha⁻¹、カリウム：37～217 kg K ha⁻¹、カルシウム 54～215 kg Ca ha⁻¹と推定された（表 2）。この推定は、短伐期施業植林において、林地から持ち出すのが幹だけだとしても、土壤の養分貯留に大きな影響を与えることを示している。

植林地の養分収支を正確に評価するためには、土壤鉱物の風化・大気および雨水からの供給・生物過程による窒素固定などの植林地への養分流入と、流亡・侵食・収穫などによる植林地外への養分流出の両方の流量を定量化する必要がある。しかし、土壤風化や大気からの供給は、その流量が極めて小さいことから、短伐期施業産業植林の主要な養分供給源としての機能は期待できない。短伐期施業産業植林の生産性を維持するためには、ほとんどの場合、施肥による養分供給が必要となるであろう。本報告でとりまとめた情報は、収穫時の植物体残渣の取り扱いに関する注意喚起や、収穫により失われる養分量を補うために必要な施肥量の算定に、必要なものである。

まとめ

炭素吸収源として植林地を造成する場合でも、炭素蓄積量だけでなく、収穫による養分の持ち出しや立地管理について考慮する必要がある。樹皮、枝、葉に多くの養分が含まれているため、これらを植林地に残すような施業を行うことは養分の保全を考える上で重要である。枝、葉、樹皮を林地に留置することで、養分の持ち出し量を減少させ土地生産力を維持することが期待される。しかしながら、幹のみを収穫したとしても、一定の養分の持ち出しは避けられない。土壤中に可給態養分が少ないことを考慮すると、短伐期施業産業植林において高い生産力を維持するには、施肥による林地への養分補給が必要である。

謝 辞

本報告は JOPP による林野庁委託事業「開発途上国人工林環境影響調査」

および日本国外務省使途指定研究 CIFOR/JAPAN research project ‘Rehabilitation of degraded tropical forest ecosystems phase 2’の一環として行われた。現地調査にご協力頂いた JOPP の会員企業，技術的なアドバイスを頂いた JIFPRO，また，ワークショップやこの原稿を作成する過程で有用なコメント，アドバイスを下さった，プロシーディングスの編集者の皆様に感謝する。

本稿は Nambiar *et al.* (eds.) 2004 “Site Management and Productivity in Tropical Plantation Forests, Proceedings of Workshops in Congo, July 2001 and China, February 2003” に収録されている論文の抄訳である（本誌図書紹介 89 ページ参照）。詳細な表，Appendix，引用文献については，原著を参照されたい（CIFOR ウェブサイト <http://www.cifor.cgiar.org/> よりダウンロード可）。

海外林業研究会のご案内

当研究会は海外森林・林業に関心のある林業技術者，研究者，教官等からなる団体で，年 1，2 回の研究会，セミナー等の開催のほか，「熱帯林業」（年 3 回）及び「緑の地球」（年 4 回），森林・林業分野の国際的取組みのあらまし（林野庁海外協力室刊，年 1 回）を会員に配布しております。入会申込み等のお問い合わせは，国際緑化推進センターへ（年会費 3,000 円）。なお，「熱帯林業」のみの購読料は，年 2,500 円です。皆様のご周囲の方々に勧誘して下さいますようお願いいたします。