

東ジャワにおける人工林のバイオマス評価

平塚基志^{*1}・塩山義之^{*1}・佐藤頭信^{*1}・森川 靖^{*1}・長塚耀一^{*2}

1. はじめに

インドネシアにおける人工林造成の歴史は古く、20世紀前半からチーク (*Tectona grandis*)などを用い、ジャワ島を中心に行われてきた。国連食糧農業機関 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) (2003) によると、2001年度にはインドネシアにおける人工林は森林全体の9.4%まで増加しており、木材供給源としても重要となってきている。近年、京都議定書の吸収源クリーン開発メカニズム (afforestation/reforestation Clean Development Mechanism, AR-CDM) とも関連し、パルプ生産を目的とした早生樹種 (*Acacia* 属や *Eucalyptus* 属など) の産業植林がインドネシアでも精力的に行われているが、一方で商用材の生産を目的とした人工林も東ジャワ地域を中心に広がっている。

熱帯雨林は、生物多様性およびバイオマスの大きさから、その減少は地球環境に大きなインパクトを与える。このため、20世紀後半から熱帯地域における天然林の減少は、単に地域だけの問題ではなく地球レベルの問題としてクローズアップされてきた。しかしながら、天然林からの過度の木材供給、森林火災、そして盗伐などにより天然林への圧力は現在までに低減してきたとは言えない。こうした中、人工林からの商用材の供給が注目されているのは、天然林に代わる木材供給源としての役割が期待されているからである。

本調査は、国際緑化推進センター (Japan International Forestry Promotion & Cooperation Center, JIFPRO) のプロジェクトの一環として行われた。

Motoshi Hiratsuka, Yoshiyuki Shioyama, Akinobu Sato, Yasushi Morikawa and Yoichi Nagatsuka : Biomass Evaluation of Man-made Forests in East Java, Indonesia

^{*1}早稲田大学人間科学部, ^{*2}(財)国際緑化推進センター

本報告では、東ジャワにおける人工林のバイオマス測定から、人工林における生産量を評価し、バイオマス蓄積の情報提供を目的とした。

2. 調査地概況

調査地には、東ジャワの都市スラバヤから南東約 150 km に位置するジュンペル近郊の人工林を選んだ。調査を行った人工林は 16 年生のマホガニー (*Swietenia macrophylla*) 林、14 年生のメルクシマツ (*Pinus merkusii*) 林であり、これらはインドネシア森林公社によって管理されていた。調査地の標高は *S. macrophylla* 林が 323 m, *P. merkusii* 林が 571 m と比較的高かった（表 1）。それぞれの林分は 5 年間隔で間伐が行われていた。このため、16 年生の *S. macrophylla* 林は間伐直後だった。

3. 方 法

それぞれの林分で設定した調査プロット（30 m × 30 m）において、全立木の胸高直径（Diameter at Breast Height, DBH）を測定した。林内には植栽木以外の樹木で樹高 1.3 m に達しているものはなかった。また植栽木からの天然更新は見受けられたが、樹高 1.3 m に達しているものはなかった。それぞれのプロットでは小径木から大径木まで均等に含まれるように 4 本の伐倒試料木を選んだ。

伐倒試料木は、伐倒後に器官別（幹、樹皮、生枝、枯枝、葉、根）に分け、

表 1 調査地の概況

樹種	<i>S. macrophylla</i>	<i>P. merkusii</i>
緯度	S08°07'03.9"	S08°15'02.0"
経度	E113°30'47.4"	E113°55'32.2"
海拔 (m)	323	571
林齢	16	14
初期植栽間隔 (m × m)	3 × 3	3 × 3
植栽密度 (本 ha ⁻¹)	1,111	1,111
現存密度 (本 ha ⁻¹)	544	600
平均 DBH (cm)	21.5	27.3
最大 DBH (cm)	28.5	38.5
最小 DBH (cm)	15.0	18.2
胸高断面積合計 (m ² ha ⁻¹)	20.2	35.8

幹はさらに2m間隔で玉切りにした。根は、*S. macrophylla*, *P. merkusii*共に、伐倒試料木の中から平均的なDBHを持つ1個体選び抜根した。その後、各器官から小サンプルを採取し絶乾率を求めた。そして、それぞれの伐倒試料木のバイオマスを器官別に算出した後、器官別で相対成長式を作成した。

$$M = a(DBH^2)^b \quad (1)$$

相対成長式の従属変数(M)には器官別、地上部全体、そして全樹体のバイオマスを、独立変数にはDBHの2乗を選んだ。係数 a および b は最小二乗法によって求めた。幹材積も同様にDBHの2乗を独立変数とする相対成長式より算出した。

根は細根もなく切れないように抜根したが(写真1)，その際に切れてしまった根については、切断面の直径を測定した。これら土壤中に残った根のバイオマスを推定するために、切断されることなく抜根した細根の根元の直径とバイオマスで相対成長式を求め、それに切断された細根の切断面の直径を代入することより算出した。相対成長式は前述したものと同じで、切断面の直径の2乗を独立変数とした。また、根については抜根した伐倒試料木について地上部(幹、樹皮、生枝、枯枝、葉)と地下部(根)の割合を求め、その割合から他の伐倒試料木の地下部(根)のバイオマスを推定した。幹材積は玉切りにした後、断面の直径(樹皮つき、樹皮なし)を測定し、スマリアン式によって算出した。*P. merkusii*林では、それぞれの立木の幹部にある樹液採取用の溝部(写真2)を差し引いた幹材積も算出した。現地での調査は2003年の8月に行った。



写真1 左は*S. macrophylla*林での抜根の様子。右は*P. merkusii*林で抜根したもの。

4. 結 果

それぞれの林分における DBH の頻度分布を示す（図 1）。それぞれの林分では、同種同齢の造林地としては一般的なベル型分布だった。立木の現存密度は

S. macrophylla で 544 本 ha^{-1} , *P. merukusii* 林で 600 本 ha^{-1} だった。*P. merukusii* の現存密度の方が大きいのは、植栽からの間伐回数の違い (*S. macrophylla* は 3 回, *P. merukusii* は 2 回) によると考えられる。DBH の最大値は *S. macrophylla* で 49.0 cm, *P. merukusii* で 38.5 cm だった（表 1）。

伐倒試料木の詳細を示す（表 2）。また、伐倒試料木から作成した相対成長式の係数および決定係数を示す（表 3）。*S. macrophylla* では、器官別に作成した相対成長式でそれぞれ満足な相関を得ることができた。*P. merukusii* 林分では、幹材積において



写真 2 *P. merukusii* 林での樹液採取

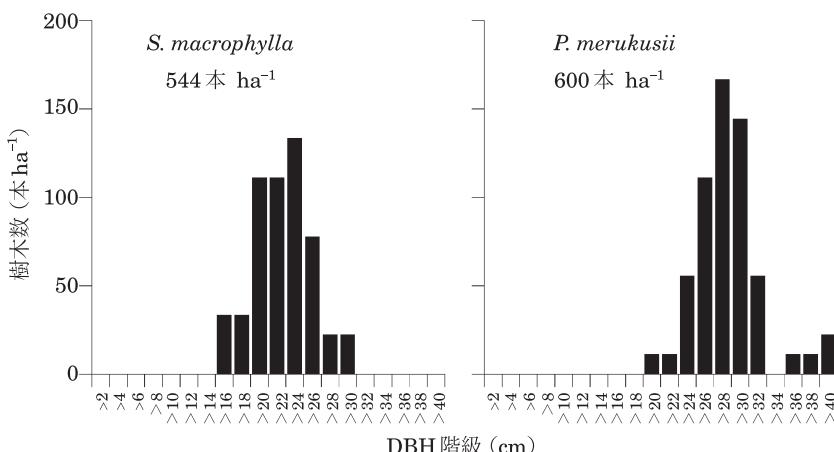


図 1 *S. macrophylla* 林（左）、*A. mangium* 林（右）における DBH の頻度分布。
図中の値は ha 当たりの樹木数

表 2 伐倒試料樹の詳細

樹種	<i>S. macrophylla</i>				<i>P. merkusii</i>			
	No.	1	2	3	4	1	2	3
樹齢 (年)	16	16	16	16	14	14	14	14
樹高 (m)	19.0	20.4	20.0	17.5	23.7	19.1	21.4	21.8
DBH (cm)	22.5	28.4	20.5	17.4	24.5	21.0	24.4	29.4
乾燥重量 (kg)								
幹部	132.0	251.3	122.7	73.7	179.6	89.0	186.2	239.3
樹皮部	17.5	29.4	13.6	8.9	28.1	11.1	26.7	33.8
生枝部	54.1	58.7	19.5	10.7	59.6	12.7	37.4	83.9
枯枝部	2.5	4.4	0.2	0.0	7.0	2.9	5.2	14.3
葉部	9.8	12.1	4.1	2.6	13.5	4.7	10.9	14.9
根部*	71.4	134.1	65.2	39.4	40.2	19.4	41.2	52.9
地上部樹体	215.8	355.8	160.2	95.8	287.9	120.4	266.4	386.3
全樹体	287.2	489.9	225.4	135.2	328.1	139.8	307.6	439.2
幹部材積 (10^{-3} m^3)								
樹皮付き	333.5	626.1	226.6	105.9	464.5	225.6	450.5	433.4
樹皮付き**	—	—	—	—	455.8	218.0	444.9	424.7
樹皮なし	290.6	425.3	194.2	87.9	382.0	196.7	374.6	344.8

* 根部のバイオマスは、それぞれ伐倒試料木 No. 1 を抜根して実測した

** 樹液採取用に削られていた部分を差し引いた幹部材積

表 3 相対成長式の係数および決定係数

樹種	<i>S. macrophylla</i>			<i>P. merkusii</i>		
	係数	a	b	r^2	a	b
幹部	7.192×10^{-2}	1.218	0.984	1.775×10^{-2}	1.424	0.865
樹皮部	8.474×10^{-3}	1.221	0.998	8.529×10^{-4}	1.592	0.790
生枝部	3.887×10^{-4}	1.817	0.815	9.565×10^{-7}	2.736	0.851
枯枝部	4.910×10^{-15}	5.237	0.864	1.949×10^{-6}	2.338	0.969
葉部	2.273×10^{-4}	1.650	0.865	2.474×10^{-4}	1.657	0.763
根部	3.841×10^{-2}	1.219	0.987	3.455×10^{-3}	1.444	0.855
地上部	5.379×10^{-2}	1.320	0.990	5.649×10^{-3}	1.662	0.867
合計	8.865×10^{-2}	1.291	0.994	7.830×10^{-3}	1.633	0.867
幹部材積 (樹皮付き)	4.131×10^{-6}	1.796	0.979	1.106×10^{-3}	0.910	0.534
幹部材積 (樹皮付き)*	—	—	—	9.591×10^{-4}	0.929	0.530
幹部材積 (樹皮なし)	1.219×10^{-5}	1.585	0.926	2.159×10^{-3}	0.777	0.468

* 樹液採取用に削られていた部分を引いた幹部材積

て満足な相関関係が得られなかった。これは、選定した伐倒試料木の樹形が上層で二又に分かれているなど不規則であったことが原因だと考えられる。根のバイオマスの一部である、抜根時に土壤中に残った細根について、それらのバイオマスを求める相対成長式を作成したが、それぞれで満足な相関関係を得た(図2)。

本調査では林床植生のバイオマスも測定したが、地上部バイオマスおよび地下部バイオマスを含めた全体のバイオマスは、林床植生を除いた全樹木のバイオマスである。16年生の *S. macrophylla* 林では地下部を含めたバイオマスが 139.1 Mg ha^{-1} 、年平均成長量 (Mean Annual Increment, MAI) で $8.7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 、*P. merukusii* 林ではそれぞれ 257.7 Mg ha^{-1} 、 $18.4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ だった(表4)。また、*P. merukusii* 林における樹液採取用の溝部を差し引いた幹材積より、幹材積全体に占める溝部の材積の割合は大きくなかった。

5. 考 察

S. macrophylla 林の地上部に対する地下部バイオマスは 38.2% と、*P. merukusii* (13.5%) と比較して大きかった。南スマトラにおいても *S. macrophylla* は地下部に大きなバイオマスを蓄積している (27.2%) ことが報告されているが (森川 2002)、*S. macrophylla* が造林地において土壤の流出を防ぐために大きく寄与していることが今回の結果からも示唆された。

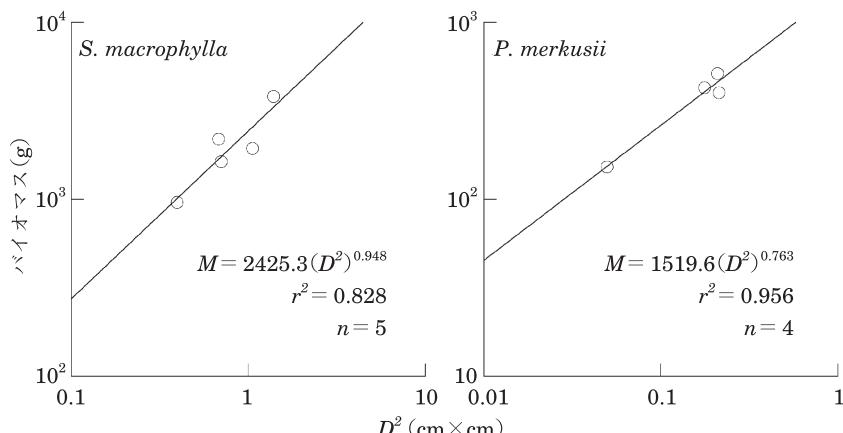


図 2 細根の断面直径 (D) の 2 乗とバイオマスの関係

表 4 バイオマス, 幹材積, 葉面積示数, および年平均成長量

樹種	<i>S. macrophylla</i>	<i>P. merkusii</i>
林齢 (年)	16	14
バイオマス ($Mg\ ha^{-1}$)		
幹部	71.8	138.0
樹皮部	8.6	20.5
生枝部	16.3	52.3
枯枝部	0.6	7.2
葉部	3.3	9.1
地上部	100.6	227.1
根部	38.4	30.6
合計	39.1	257.7
幹部材積 ($m^3\ ha^{-1}$)		
樹皮付き	151.6	277.5
樹皮付き*	—	272.9
樹皮なし	119.8	222.7
葉面積示数	6.3	—
林床植生 ($Mg\ ha^{-1}$)*	4.3	2.1
リター ($Mg\ ha^{-1}$)**	5.7	9.9
年平均成長量		
バイオマス ($Mg\ ha^{-1}\ yr^{-1}$)		
地上部	6.3	16.2
合計	8.7	18.4
幹部材積 ($m^3\ ha^{-1}\ yr^{-1}$)		
樹皮付き	9.5	19.8
樹皮付き*	—	19.5
樹皮なし	7.5	15.9

* 樹液採取用に削られていた部分を引いた幹部材積

** 2 m × 2 m のサブプロット 4 カ所の平均値

東ジャワに広がるインドネシア森林公社が管理している人工林は、今回調査を行った *S. macrophylla* や *P. merkusii* の以外にも、チーク (*Tectona grandis*) など商業材が広く植栽されていた。それぞれの人工林は、伐採と再植林を繰り返しているということで、林業生産として機能していることも伺えた。熱帯地域において天然林が有する多様な樹種およびそこに棲息している多様な生物の保全のためには、天然林そのものの保全が欠かせない。天然林に代わる木材生産の場としての人工林は、こうした天然林の保全にとっても有効となることが期待される。

東ジャワにおいては新規植林がほとんど行われていないとのことであり、AR-CDM の対象地の評価としては難しいことが伺えた。しかしながら、こうした持続的な森林利用は、森林との共存のためにも有効であり、長期間の森林管理は公益的機能として地域住民に、ひいては地球全体にとっても利益をもたらす可能性がある。

謝 辞

現地での調査は、インドネシア林業省研究開発庁（Forestry Research and Development Agency, FORDA）の方々にお世話になりました。また国際林業研究センター（Center for International Forestry Research, CIFOR）の藤間剛博士には多くのアドバイスを頂きました。協力して頂いた皆さんに感謝致します。

〔引用文献〕 FAO., 2003. State of the world's forest. Food and Agriculture Organization, Roma. Morikawa, Y., Ohta, S., Hiratsuka, M., Toma, T., 2002. Carbon sequestration of man-made forests : sequestration estimate and its bearings on CDM. In : Taiwan Forestry Research Institute (Eds). Proc. Inter. Symposium on forest carbon sequestration and monitoring, Taipei, Taiwan, 171-180.