

南スマトラの森林修復によるバイオマス増加

平塚基志*1・森川 靖*1・長塚耀一*2・大角泰夫*2

1. はじめに

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。このため衰退した森林を誘導修復し維持していくことは、地域環境の改善という意味だけではなく、地球環境にとっても大きな意味を持つ。こうした背景から、熱帯地域における荒廃地では、森林修復を目的としたプロジェクトが20世紀後半から実施されている。日本が主体となり大面積造林を目的としたプロジェクトは1970年代以降に始まり、代表的なものとしてはパンタバンガン（フィリピン）、ブナカット（インドネシア）などが挙げられる。こうしたプロジェクトからは、森林修復への多くの基礎情報が提供され、現在進行中の森林修復プロジェクトにも大きく寄与した。また、近年になり国際林業研究センター（Center for International Forestry Research, CIFOR）が実施しているプロジェクト（Review of forest rehabilitation initiatives - Lessons from the past）のように森林修復の再評価も行われるなど、サイトごとに蓄積された情報を統括し、さらに有効に活用していこうとする動きもある。また、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、造林後のバイオマス蓄積をより正確かつ簡易的に定量化する必要性が増している。

森林修復による荒廃地から森林への回復具合を評価する場合、その修復林における生産量、あるいはその回復量の評価を欠かすことはできない。また、前述した京都議定書のAR-CDMとも関連し、環境造林地および産業植林地にお

Motoshi Hiratsuka, Yasushi Morikawa, Yoichi Nagatsuka, Yasuo Osumi :
Biomass Accumulation on Rehabilitating Forest in South Sumatra, Indonesia

*1 早稲田大学人間科学部, *2 国際緑化推進センター

けるバイオマスを定量化することが重要となっている。

本調査は、2001 年度に国際緑化推進センター（Japan International Forestry Promotion & Cooperation Center, JIFPRO）の CDM 植林促進技術開発事業の一環として行われた。本報告は、南スマトラのブナカット造林地における森林修復の現状を修復林でのバイオマス調査の結果から評価し、修復林におけるバイオマス蓄積の情報提供を目的とした。

2. 調査地概況

調査地であるブナカット造林地は、南スマトラ州の州都パレンバンの南西 130 km に位置する。ブナカットにおける造林プロジェクトは、荒廃した森林の修復を目的とし、1980 年より開始された。これは、日本とインドネシア両国の共同プロジェクトである「南スマトラ森林造成技術協力計画」として実施された。このプロジェクトについては、これまでに本誌などで貴重な情報が提供されている（例えば、加藤 1995, 岡部 1986, 桜井 1992, 山手 1985）。

また、調査はブナカット造林地の近隣に位置する PT. Musi Hutan Persada 社（MHP）の社有林（産業植林地）においても比較のために行った。MHP 社有林で測定された雨量は 1991–1998 年で $1,890\text{--}3,330\text{ mm yr}^{-1}$ と年によるばらつきがあった。土壌タイプは red-yellow podsollic もしくは典型的な Kandiudult である（Hardiyanto *et al.* 1999）。ブナカット造林地においても、MHP 社有林の近隣に位置することから、ほぼ同じ雨量、土壌タイプだと推測される。

調査地にはブナカット造林地から 20 年生のマホガニー（*Swietenia macrophylla*）林分、MHP 社有林から 6 年生のマンガウム（*Acacia mangium*）林分を選んだ。

3. 方 法

それぞれの林分で設定した調査プロットにおいて、全立木の胸高直径（DBH）を測定した。幹が二又または三又に分かれている場合には、樹高 1.3 m に達していた分枝幹があれば、それぞれを 1 個体と見なして測定した。地上部の枯死個体からの萌芽枝も、樹高 1.3 m に達していた場合は全て測定した。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 S.

macrophylla 林では 5 本, *A. mangium* 林では 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, 枝, 葉, 根)に分け, 幹はさらに 2m 間隔で玉切りにした。根は, *S. macrophylla*, *A. mangium* 共に, 伐倒試料木の中から 1 個体を選び重機で抜根した。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あと, 器官別で相対成長式(1)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から算出した。

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, 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。地下部(根)は重機で抜根したため, 細根が切断され土壌中に残されたと考えられる。したがって, 実際よりも少ない値であることが推測される。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。現地での調査は 2001 年の 9 月に行った。

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)。*S. macrophylla* 林分は, 造林地で一般的なベル型分布ではなく, それに加えて小径木の集団が見受けられた。これらは, 地上部の枯死個体からの萌芽更新による個体の集まりだと考えられる。*A. mangium* 林分ではこのような萌芽更新は確認されなかったことから, 同齢同種の造林地としては一般的なベル型分布となった。DBH の最大値は *S. macrophylla* 林で 44.6 cm, *A. mangium* 林で 27.2 cm であった。植栽木の生残率は *S. macrophylla* 林で 77%, *A. mangium* 林で 82% であった。ただし, *S. macrophylla* 林では萌芽枝なども樹高が 1.3 m に達していれば 1 個体としたため, 実際の植栽木だけの生残率はさらに低いものと考えられる(表 1)。

伐倒試料木の詳細を表 2 に示す。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表 3 に示す。*S. macrophylla*, *A. mangium* 共に, 器官別に作成した相対成長式ではそれぞれ満足な相関を得ることができた。本調査では林床植物のバイオマスも測定したが, ここでの林分バイオマスは全樹体(地上部+地下部)のバイオマスのみである。20 年生の *S. macrophylla* 林では

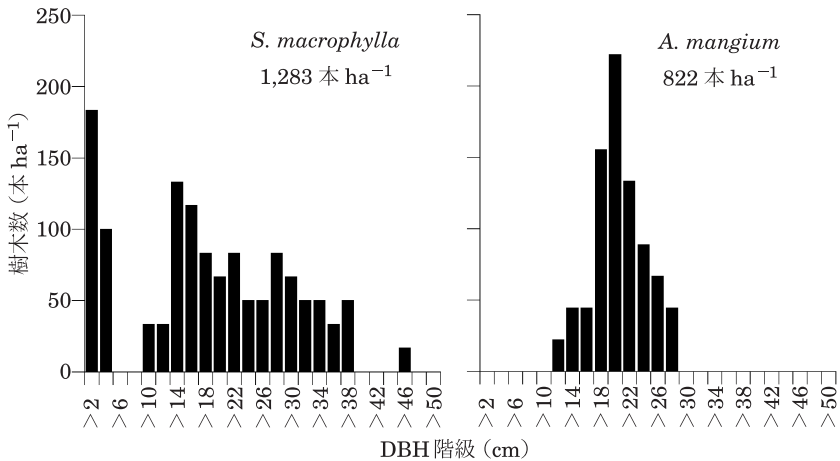


図 1 *S. macrophylla* 林 (左), *A. mangium* 林 (右) における DBH の頻度分布。図中の値は ha 当たりの樹木数

表 1 調査林分の概況

樹種	<i>S. macrophylla</i>	<i>A. mangium</i>
林齢 (年)	20	6
植栽間隔 (m)	1.5×4	2.5×4
初期植栽密度 (本 ha ⁻¹)	1,667	1,000
調査時立木密度 (本 ha ⁻¹)	1,283	822
平均 DBH (cm)	17.6	19.5
最大 DBH (cm)	44.6	27.2
最小 DBH (cm)	0.7	11.5
胸高断面積合計 (m ² ha ⁻¹)	43.9	25.5

地下部を含めたバイオマスが 342.5 Mg ha⁻¹, 年平均成長量 (MAI) で 17.1 Mg ha⁻¹ yr⁻¹, *A. mangium* 林ではそれぞれ 163.7 Mg ha⁻¹, 27.3 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ であった (表 4)。また, 近隣に広がっていた火入れ後 1 年が経過したアラン・アラン (*Imperata cylindrica*) 草原でも地上部バイオマスを測定したが 4.1 Mg ha⁻¹ という値を得た (表 4)。

5. 考 察

本調査では, 地下部バイオマスの推定も行ったが, *S. macrophylla* と *A.*

表 2 伐倒試料木の詳細

樹種	<i>S. macrophylla</i>					<i>A. mangium</i>			
	1	2	3	4	5	1	2	3	4
No.	20	20	20	20	20	6	6	6	6
樹齡 (年)	20	20	20	20	20	6	6	6	6
樹高 (m)	15.5	21.2	12.4	22.7	19.5	22.0	22.4	19.9	23.8
DBH (cm)	19.3	25.7	11.7	37.4	17.6	18.7	20.1	11.5	23.4
バイオマス (kg)									
幹	86.5	210.1	26.7	412.2	95.6	108.1	98.6	32.6	163.9
樹皮	10.1	33.5	3.7	62.8	14.6	17.8	16.2	5.4	27.0
枝	33.4	64.8	1.3	255.2	7.5	34.7	23.9	6.8	66.0
葉	6.6	9.7	1.7	23.2	2.5	6.6	5.3	0.7	10.0
根*	37.8	95.4	11.9	186.0	43.1	25.5	23.2	7.7	38.6
地上部樹体	136.7	318.1	33.5	753.4	120.1	167.1	144.0	45.6	266.8
全樹体	174.5	413.5	45.4	939.4	163.3	192.6	167.2	53.3	305.4
幹の材積 (10^{-3}m^3)									
樹皮付き	184.9	464.5	61.1	999.1	196.5	274.5	278.5	90.1	444.4
樹皮なし	158.7	379.7	49.6	857.0	172.1	224.4	245.5	74.1	377.9

* *S. macrophylla* では No. 5, *A. mangium* では No. 1 を抜根して実測した

表 3 相対成長式の係数および決定係数

樹種係数	<i>S. macrophylla</i>			<i>A. mangium</i>		
	<i>a</i>	<i>b</i>	r^2	<i>a</i>	<i>b</i>	r^2
幹	9.279×10^{-2}	1.173	0.979	1.459×10^{-1}	1.109	0.977
樹皮	9.708×10^{-3}	1.225	0.953	2.399×10^{-2}	1.109	0.977
枝	2.332×10^{-5}	2.272	0.953	4.593×10^{-3}	1.491	0.919
葉	4.749×10^{-3}	1.171	0.929	8.589×10^{-5}	1.865	0.965
根	3.995×10^{-2}	1.180	0.977	3.436×10^{-2}	1.109	0.977
地上部	5.058×10^{-2}	1.337	0.995	1.291×10^{-1}	1.201	0.966
全樹体	8.241×10^{-2}	1.301	0.993	1.606×10^{-1}	1.189	0.968
幹の材積 (樹皮付き)	1.685×10^{-4}	1.206	0.988	4.200×10^{-4}	1.098	0.991
幹の材積 (樹皮なし)	1.326×10^{-4}	1.218	0.987	2.965×10^{-4}	1.129	0.997

mangium では、地上部に対する比率で 27.2% と 15.2% となり、大きな差があった。このことから、*S. macrophylla* による森林修復は、地下部に広く根を張り劣化した土地においては土壌の流出を防ぐために大きく寄与していること

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>A. mangium</i>
樹齡 (年)	20	6
バイオマス (Mg ha ⁻¹)		
幹	162.9	91.4
樹皮	24.1	15.0
枝	74.0	29.4
葉	8.2	6.3
根	73.3	21.6
地上部樹体	269.2	142.2
全樹体	342.5	163.7
幹の材積 (m ³ ha ⁻¹)		
樹皮付き	368.6	246.7
樹皮なし	313.3	209.7
葉面積示数	10.9	5.2
林床植物 (Mg ha ⁻¹)*	1.7	1.0
アラン・アラン草原 (Mg ha ⁻¹)*	4.1	
年平均成長量		
地上部バイオマス (Mg ha ⁻¹ yr ⁻¹)	13.5	23.7
全樹体バイオマス (Mg ha ⁻¹ yr ⁻¹)	17.1	27.3
樹皮付き幹の材積 (m ³ ha ⁻¹ yr ⁻¹)	18.4	41.1
樹皮なし幹の材積 (m ³ ha ⁻¹ yr ⁻¹)	15.7	35.0

*それぞれの値は, 2つのサブプロットより算出したものを平均して求めた

Mg (メガグラム)=トン

が推測された。また, 有用樹種である *S. macrophylla* 林分の MAI ($17.1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$) は早生樹種と比較しても見劣りしない成長量であった (写真 1)。最大 DBH が 44.6 cm, 平均 DBH でも 17.6 cm と, 伐採・搬出し加工できる大きさに達していた。このことから森林修復プロジェクトにおいて, 造林から 20 年間で林業生産林としての森林に回復させることも可能であることが示唆された。また, 早生樹種だけではなく, 有用樹種を用いた造林地においても AR-CDM の対象地となりうる可能性があることが伺えた。

森林修復を目的とした造林を実施する際, 実施前に長期的な視点から生産力の回復量を予測するのは非常に難しい。なぜならば, 熱帯地域においては長期に渡る修復林のモニタリングがあまり行われてこなかったからである。今回, 初期の造林から約 20 年が経過した林分でバイオマスを測定したが, こうした結果は単にケース・スタディとしてだけではなく, 今後の森林修復プロジェク



写真 1 *S. macrophylla* 林の造林開始からの推移。左から造林時の様子，造林後 2-3 年後の林分，造林から 20 年が経過した林分

トの参考にもなることを期待したい。

最後に、ブナカット造林地における森林修復の成功例は、長期に渡る造林地の管理によりもたらされた結果であることをここに明記したい。熱帯地域において大きな問題となっている森林火災や盗伐から、修復林を長期的に守っていくことが森林修復には欠かせないのである。

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、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まに感謝致します。

〔引用文献〕 加藤 隆（1995）ブナカット試植林その後．熱帯林業 No. 34：24-31． 岡部廣太（1986）インドネシア・ブナカットの森林造成．熱帯林業 No. 7：50-57． Hardiyanto E.B., Ryantoko A., and Anshori S. 1999. Effects of site management in *Acacia mangium* plantations at PT. Musi Hutan Persada, South Sumatra, Indonesia. In ; Proc. Inter. Workshop. Site Management and Productivity in Tropical Plantation Forest, Kerala, India, 41-49. 桜井尚武（1992）熱帯林の再生—熱帯アジアの人工造林—森林科学 No. 6：18-27. 山手廣太（1985）再び南スマトラ森林造成技術協力プロジェクトについて．熱帯林業 No. 3：51-56.